

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

Інженерно-хімічний факультет

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних
виробництв**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри МАХНВ
_____ Я.М.Корнієнко
(підпис)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»

з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

освітня програма (спеціалізація): обладнання хімічних,
нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

**на тему: Підвищення ефективності процесу грануляції при
неоднорідному псевдозрідженні**

Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-81мп

Шевченко Ярослав Миколайович _____

Керівник дисертації д.т.н, професор Я. М. Корнієнко _____

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун _____

(підпис)

розробка стартап-проекту

канд. економ. наук, доц. Н.В. Юдіна _____

(підпис)

технологія виготовлення конусного фланця муфти

приводу апарата з мішалкою

старш. викл. Я.Г. Двойнос _____

(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук, доцент А.Ю. Сазонов _____

(підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій
магістерській дисертації немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»

спеціальність: 133 - Галузеве машинобудування

освітня програма (спеціалізація): обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Я.М. Корнієнко

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Шевченку Ярославу Миколайовичу

1. Тема дисертації: «Підвищення ефективності процесу грануляції при неоднорідному псевдозрідженні»

керівник дисертації Корнієнко Я.М., завідувач кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, доктор технічних наук, професор затверджені наказом по університету від “___” _____ 2020 р. № _____.

2. Термін подання студентом проекту: 1 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту: Продуктивність гранулятора з псевдозрідженим шаром 500 кг/год. Температури гріючого агенту: на вході в оболонь мішалки – 90 °С; температура в мішалці – 40 °С, масова концентрація розчиненої речовини – 40 мас.ч.

4. Зміст пояснювальної записки:

а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій гранулятора, апарату з перемішуючим пристроєм. Виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій, а саме, технологічний, параметричний, конструктивний, гідравлічний розрахунки, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;

- б) маркетинг стартап-проектів: створити стартап-проект модернізованого апарату;
- в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з експлуатацією установки, запропонувати заходи щодо обмеження їх дії, виконати відповідні розрахунки, викласти основні правила безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;
- г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування установкою; скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;
- д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення конусного фланця муфти приводу апарата з мішалкою, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для свердління отворів.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): принципова схема установки – А1, схема автоматичного керування – А1, складальні креслення: гранулятора – 2хА1, газорозподільного пристрою – А1, апарата з перемішуючим пристроєм – А1, корпусу апарата з перемішуючим пристроєм – А1, пристрій для розсвердлювання отворів – А1, результати проведених експериментів – 2хА1, фланця муфти приводу апарата з перемішуючим пристроєм – А3, технологічна ідея патенту – А3.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І.М.		
Розроблення стартап-проекту	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення конусного фланця муфти приводу апарата з мішалкою	Двойнос Я.Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Сазонов А.Ю.		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	2	3	4
1	Переддипломна практика. Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Добір матеріалів. Складання звіту з практики. Виконано складальні креслення: гранулятора з псевдозрідженим шаром – 2хА1, Апарата з перемішуючим пристроєм – А1.	01.09.2019	
2	Патентне дослідження. Формування ідеї модернізації. Обґрунтування економічної доцільності модернізації.	15.09.2019	
3	Обґрунтування актуальності проекту. Опис установки. Схема установки. Вибір та опис гранулятора, змішувача. Технічна характеристика апаратів.	20.09.2019	
4	Параметричні розрахунки: визначення основних розмірів апаратів. Розрахунок товщини стінок апаратів.	10.10.2019	
5	Розробка складальних креслень апаратів та їх складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апаратів.	19.10.2019	
6	Розрахунки на міцність. Розробка супроводжуючих документів. Виконання схем.	05.11.2019	
7	Консультації відповідно до графіку з питань охорони праці, економіки, технології машинобудування, автоматизації, автоматизації процесу.	10.11.2019	
8	Уточнення графічної частини проекту та специфікації	15.11.2019	
9	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформлення. Підготовка до захисту. Складання плану викладення доповіді, окремих питань.	20.11.2019	
10	Попередній захист проекту.	02.12.2019	

1	2	3	4
11	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відгуку. Підготовка до захисту.	09.12.2019	

Студент

_____ Я. М. Шевченко
(підпис)

Керівник дипломного проекту

_____ Я. М. Корнієнко
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 66.096.5

Магістерська дисертація на тему: «Підвищення ефективності процесу грануляції при неоднорідному псевдозрідженні» / НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Керівник Я.М. Корнієнко. – К., 2019. – 258 с.: 55 іл. Виконавець – Я.М. Шевченко – Бібліографія: с. 202.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань з 42 найменувань. Загальний обсяг записки становить 179 сторінок основного тексту, 55 рисунків, 32 таблиць.

Об'єкт дослідження: гідродинаміка при пульсаційному псевдозрідженні.

Предмет дослідження: якісні характеристики гідродинаміки неоднорідного псевдозрідження при грануляції.

Метою роботи є підвищення ефективності грануляції при неоднорідному псевдозрідженні.

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типів апарату гранулятора з псевдозрідженим шаром, апарата з перемішуючим пристроєм, їх місце в технологічній схемі, технічну характеристику апаратів, обґрунтування вибору конструкцій апаратів, що проектуються і принцип дії їх основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розроблюваних конструкцій гранулятора та змішувача з аналогами, патентне дослідження конструкцій апаратів. Наведено заходи, щодо охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено модернізацію апарату та розроблено стартап-проект. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керування процесом.

НЕОДНОРІДНЕ СТРУМЕНЕВО-ПУЛЬСАЦІЙНЕ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ,
АВТОКОЛИВАЛЬНИЙ РЕЖИМ, ГУМІНОВО-МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА,
ГІДРОДИНАМІЧНА ЯКІСТЬ, ПУЛЬСАЦІЇ.

РЕФЕРАТ

УДК 66.096.5

Магистерская диссертация на тему: «Повышение эффективности процесса грануляции при неоднородном псевдоожижении» / НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского»; Научный руководитель Я.М. Корниенко. – К., 2019. – 258 с.:55 ил. Исполнитель – Я.Н. Шевченко – Библиография: с. 202

Пояснительная записка состоит из введения, восьми глав, заключения и списка ссылок из 42 наименований. Общий объем записки составляет 179 страниц основного текста, 55 рисунков, 32 таблиц.

Объект исследования: гидродинамика при пульсационном псевдоожижении.

Предмет исследования: качественные характеристики гидродинамики неоднородного псевдоожижения при грануляции.

Целью работы является повышение эффективности грануляции при неоднородном псевдоожижения.

Записка содержит описание технологического процесса, выбор типов аппарата гранулятора с псевдоожиженным слоем, аппарата с перемешивающим устройством, их место в технологической схеме, техническую характеристику аппаратов, обоснование выбора конструкций аппаратов, проектируемых и принцип действия их основных сборочных единиц и деталей, сравнение основных показателей разрабатываемых конструкции гранулятора и смесителя с аналогами, патентное исследование конструкций аппаратов. Приведены мероприятия по охране труда, рекомендации по монтажу и эксплуатации. Проведена модернизация аппарат и разработаны стартап-проект. Определен уровень стандартизации и унификации. Разработан автоматическую схему управлением процессом.

НЕОДНОРОДНОЕ СТРУЙНО-ПУЛЬСАЦИОННОЕ
ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ, АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ, ГУМИНОВО-
МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ, КАЧЕСТВО ГИДРОДИНАМИКИ,
ПУЛЬСАЦИИ.

THE ABSTRACT

UDC 66.096.5

Master's thesis on the topic: « Increasing the efficiency of the granulation process with inhomogeneous fluidization » / NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Leader Y. Korniyenko.– K., 2019. – 258 p.: 55 img. Developer – Y. Shevchenko – References: p. 202

The Master's thesis consists of an introduction, eight sections, conclusions and a list of references (42 sources). The total volume is 179 pages of the main text, 55 figures, 32 tables.

The object of the research: the hydrodynamics during the pulsation fluidization.

The subject of the research: quality characteristics of hydrodynamics of nonuniform fluidization during the granulation process.

The aim of the work is increase the efficiency of granulation in heterogeneous fluidization.

The project contains a description of technological process, the choice of fluidized bed granulator apparatus, the apparatus with a mixing device and their place in the technological scheme, the technical characteristics of apparatus, justification of the choice of designs of apparatus being developed and the principle of their main assembly units and parts, comparison of basic parameters of granulator and mixer apparatus and mixer apparatus designs with analogues, patent research of apparatus constructions. The measures concerning safety, installation and maintenance recommendations are given. The modernization of a plant is done and a startup project is developed. Standardization and unification levels are defined. Automated process control system is developed.

INHOMOGENEOUS JET PULSATION OF FLUIDIZATION, SELF-OSCILLATING MODE, HUMIC-MINERAL FERTILIZERS, QUALITY OF HYDRODYNAMICS, PULSATION.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

Інженерно-хімічний факультет

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних
виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

освітнього ступеня «магістр»

з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

**освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних
та целюлозно-паперових виробництв**

**на тему: Підвищення ефективності процесу грануляції при
неоднорідному псевдозрідженні**

Зміст

Перелік умовних позначень	13
1 Призначення та використання установки виробництва гуміново-мінеральних добрив.....	17
1.1 Опис технологічного процесу.....	17
1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі	19
2 Технічні характеристики основних апаратів установки	21
3 Опис та обґрунтування вибраних конструкцій апаратів	22
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей	22
3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами	25
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів	27
3.4 Патентний огляд конструкцій гранулятора та апарата з перемішуючим пристроєм.....	28
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	40
4.1 Наукові дослідження	40
4.1.1 Мета та задачі дослідження	40
4.1.2 Фізична модель процесу грануляції гуміново-мінеральних добрив з рідких гетерогенних систем у апараті із псевдозрідженим шаром	41
4.1.3 Фізична модель неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі.....	44
4.1.4 Оцінка якості неоднорідного псевдозрідження в автоколивальному режимі	50
4.1.4 Дослідна установка.....	52
4.1.6 Результати і обговорення.....	54
4.2.1 Вихідні дані до розрахунку	76
4.2.2 Матеріальний розрахунок гранулятора	78
4.2.3 Тепловий розрахунок гранулятора	78
4.2.4 Розрахунок приведеної швидкості теплоносія.....	80
4.2.5 Розрахунок основних геометричних розмірів апарата	81
4.2.6 Розрахунок основних розмірів ГРП.....	83

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Шевченко			Підвищення ефективності процесу грануляції при неоднорідному псевдозрідженні	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>
<i>Перев.</i>		Корнієнко					<i>Листів</i>
							10
<i>Н.Контр.</i>						НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, ІХФ, МАХНВ	
<i>Затв.</i>							
							258

4.2.7 Розрахунок діаметрів штуцерів введення та виведення теплоносія із гранулятора	85
4.2.7 Гідравлічний розрахунок апарату	86
4.2.9 Розрахунок параметрів зони охолодження	88
4.2.10 Розрахунок теплової ізоляції	89
4.3 Розрахунок апарата з перемішуючим пристроєм	91
4.3.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата з перемішуючим пристроєм	91
4.3.2 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском	96
4.3.3 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском	99
4.3.4 Розрахунок еліптичного днища	101
4.3.5 Розрахунок фланцевого з'єднання	103
4.3.6 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап	113
4.3.7 Розрахунок товщини теплової ізоляції	116
4.3.8 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість	118
4.3.9 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на жорсткість	121
4.3.10 Розрахунок штуцерів	125
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	129
5.1 Електробезпека	130
5.2 Повітря робочої зони	132
5.3 Захист персоналу від шуму та вібрації	135
5.4 Безпека при роботі рухомих та обертових частин	136
5.5 Безпека при надзвичайних ситуаціях	137
5.6 Пожежна безпека	138
6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів	141
7 Рівень стандартизації та уніфікації	143
8 Розроблення стартап-проекту	144
8.1. Опис ідеї проекту	144
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту	147
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	149

8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером	161
8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	171
8.7 Висновки	176
Висновки	177
Conclusions	181
Додаток А Технологія виготовлення конусного фланця муфти приводу апарата з мішалкою.....	188
Додаток Б Автоматична схема керування установкою	204
Додаток В Документація до патентного дослідження.....	214
Додаток Г Патенти, які використовувалися в патентному дослідженні	220
Додаток Д Комп'ютерний розрахунок обичайки навантаженої зовнішнім тиском.....	230
Додаток Е Публікації автора	234
Додаток Є Результати експериментальних досліджень	236

Перелік умовних позначень

Умовні позначення:

ρ – густина рідкої фази, кг/м³;

K_w – число псевдозрідження;

W_p – робоча швидкість в апараті, м/с;

$W_{кр}$ – швидкість початку псевдозрідження (критична швидкість), м/с;

w_t – швидкість твердої фази в камері гранулятора, м/с;

ε_0 – порозність нерухомого шару;

ε_d – порозність в зоні Д;

$d_б$ – діаметр газової бульбашки, мм;

ψ – коефіцієнт гранулоутворення, %;

$H_{ш}$ – висота шару, м;

$G_{гр}$ – масова продуктивність за гранульованим продуктом, кг/год;

G_M – масова продуктивність за сухими речовинами, що надходять до апарату з рідкою фазою, кг/год;

$M_{ш}$ – маса псевдозрідженого шару, кг;

$\Delta P_{ш}$ – гідравлічний опір шару, Па;

F_a – площа апарата в зоні газорозподільного пристрою, м²;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

D_e – еквівалентний діаметр часток в шарі, м;

ρ_t – густина частинок, кг/м³;

$f_{ш}$ – загальна поверхня часток в шарі, м²;

a_f – щільність зрошення поверхні шару за вологістю, кг вол/м²·год;

Q – загальна витрата теплоти, кДж;

L – масова витрата теплоносія, кг/год;

x_i – масова частка і-тої фракції, по даним ситового аналізу;

F_p – площа живого перерізу ГРП, м²;

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

φ – коефіцієнт живого перерізу, %;

ΔP_p – гідравлічний опір ГРП, Па;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору;

V – об’ємні витрати повітря, м³/год;

ΔP_d – перепад тиску на камерній діафрагмі, Па;

t – крок між щілинами газорозподільного пристрою, м;

τ – період коливань, с;

$w_{щ}$ – швидкість газу в щілинах газорозподільного пристрою, м/с;

$x_{гор}$ – горизонтальна далекобійність газового струменя, м;

$z_{ф}$ – висота пробою газового факела, м;

W – масові витрати випареної води, кг/год;

g_r – витрати природного газу на 1 кг повітря, яке нагрівається, кДж/кг;

i_1 – ентальпія повітря, яке виходить з теплогенератора, кДж/кг;

i_0 – ентальпія повітря, яка надходить до теплогенератора, кДж/кг;

t_1 – температура теплоносія на вході до апарату, °С;

t_2 – температура в шарі матеріалу, °С;

q_v – втрати в навколишнє середовище, кДж;

D – поточне значення діаметра частинок в шарі, м;

D_y – мінімальний діаметр частинок, що виносяться з апарату теплоносієм, м;

N – потужність, кВт;

Числа (критерії) подібності:

Re – число Рейнольдса;

Ar – число Архімеда;

Pr – критерій Прандтля.

Перелік скорочень:

ГРП – газорозподільний пристрій;

ГМД – гуміново-мінеральні добрива.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

За останні роки виснаження ґрунтів сільськогосподарськими культурами в наслідок нераціонального землекористування, без повернення поживних речовин у вигляді добрив, призвело до зменшення родючості. Нестача необхідних мікро елементів призводить до ураження посівних культур паразитами та як наслідок відмирання рослин. Це призводить до негативних наслідків розвитку економіки нашої держави й світу в цілому.

Для підвищення якості підживлення ґрунтів, та перешкоджанню потраплянню азоту до ґрунтових вод, актуально використовувати гранульовані органо-мінеральні добрива, вони містять цілий комплекс поживних речовин, зручні в транспортуванні та забезпечують рівномірне виділення азоту до ґрунту.

Для виробництва гуміново-мінеральних добрив доцільно використовувати апарат з псевдозрідженим шаром, який дозволяє поєднати в собі чотири енергоємні та дорогі технологічні операції (випаровування, кристалізацію, сушку, перемішування). Це забезпечує підвищення енергетичного ККД більш ніж на 50%, що дозволяє суттєво знизити ціну на кінцевий продукт[1].

Метою даного проекту забезпечення якісного автоколивального струменево-пульсаційного режиму псевдозрідження в апараті з псевдозрідженим шаром в процесі виробництва гуміново-мінеральних добрив.

У дисертаційні роботі необхідно описати технологічний процес виробництва гуміново-мінеральних добрив, обґрунтувати вибір типу апарата, провести параметричні та конструктивні розрахунки апаратів та їх місце в технологічній схемі, навести основні технічні характеристики апаратів, провести патентний огляд конструкцій, обґрунтувати вибір матеріалів, провести розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції апаратів, а також навести технологічну схему виробництва та виконати складальні креслення розроблюваних апаратів, із специфікаціями до них. Розробити норми охорони праці та безпеки при роботі та надзвичайних ситуаціях. Навести рекомендації щодо монтажу та експлуатації обладнання, визначити рівень

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

стандартизації та уніфікації складових елементів. Розробити стартап проект, який економічно обґрунтує доцільність проекту. Розробити технологічний процес виготовлення деталі (конусного фланця муфти приводу апарата з мішалкою) та схему автоматичного керування процесом виробництва гуміново-мінеральних добрив.

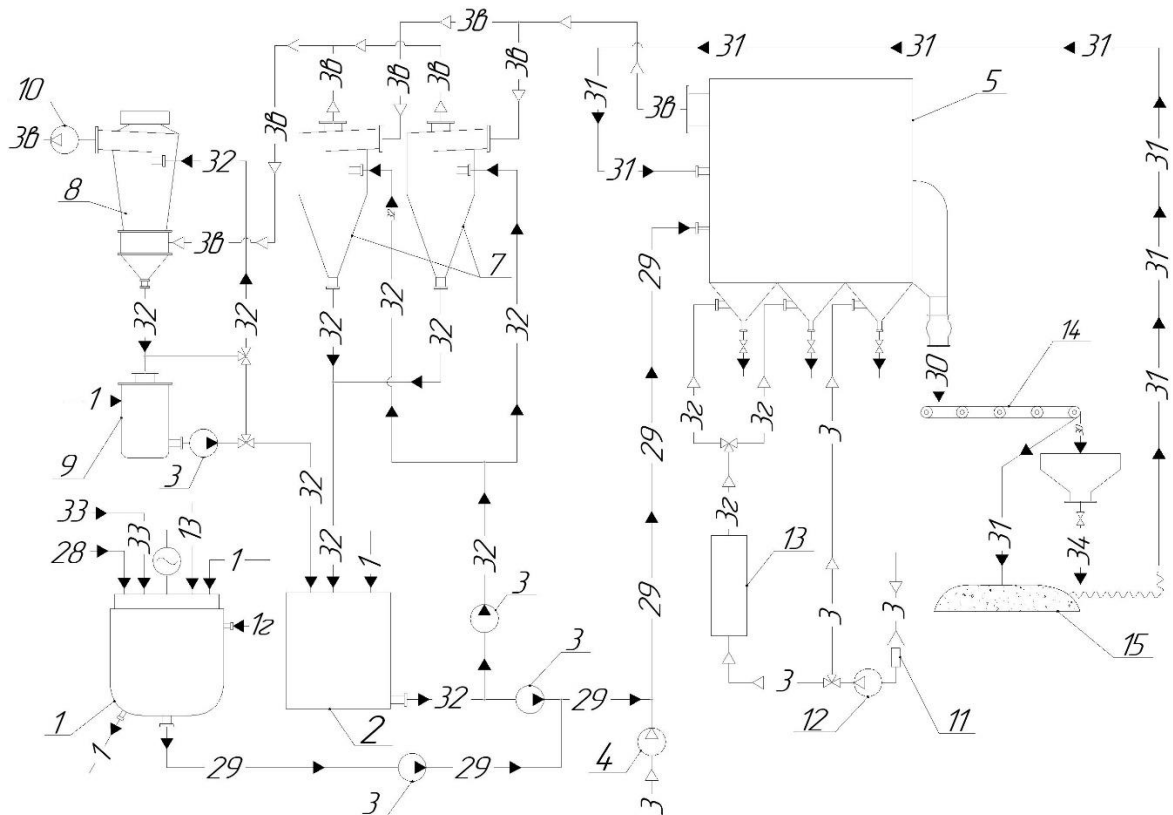
Завдання на магістерську дисертацію видано 2 вересня 2019 року під час проходження переддипломної практики в Інституті газу НАН України.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Призначення та використання установки виробництва гуміново-мінеральних добрив

1.1 Опис технологічного процесу

Технологічну схему виробництва гуміново-мінеральних добрив зображено на рисунку 1.1.



- 1 – вода;
- 1г – гаряча вода;
- 3 – повітря;
- 3г – гаряче повітря;
- 3в – відпрацьоване повітря;
- 13 – сульфат амонію;
- 28 – карбомід;
- 29 – робочий розчин;
- 30 – гранули;
- 31 – нові центри грануляції;
- 32 – вторинний розчин;
- 33 – гумати;
- 34 – готові гранули.

- 1 – апарат з перемішуючим пристроєм; 2 – ємність; 3 – насос-дозатор;
- 4 – компресор; 5 – гранулятор; 6 – установка для фасування; 7 – мокрий циклон;
- 8 – скруббер; 9 – ємність з водою; 10 – вентилятор; 11 – фільтр;
- 12 – вентилятор ВЦП (газодувка); 13 – теплогенератор; 14 – транспортер;
- 15 – склад з новими центрами грануляції;

Рисунок 1.1 – Технологічна схема промислової установки виготовлення гуміново-мінеральних добрив

Виробництво гранульованих гуміново-мінеральних добрив відбувається наступним чином. Зріджувальний агент (повітря) 3 за допомогою вентилятора ВЦП (газодувки) 12 через повітряний фільтр 11 потрапляє до електрокалорифера 13, де відбувається його нагрівання до температури 210 °С. Гаряче повітря 3г подається до гранулятора 5, що спричиняє рух зернистого матеріалу. Завдяки тому, що повітря подається через щілини газорозподільного пристрою, з швидкістю достатньою для забезпечення автоколивального струменево-пульсаційного режиму, вдається запобігти оплавленню матеріалу на поверхні ГРП. Шар матеріалу прогрівається до температури 90-96 °С [2], після чого до апарату починає подаватися гетерогенний робочий розчин 29, який містить в собі сульфат амонію 13, карбонід 28 та гумати 33, за допомогою регулювання витрат розчину в апараті підтримується стала температура шару 96 °С, регулювання здійснюється за допомогою насосу-дозатора 3. Задля забезпечення однорідності розчину, необхідно досягти розчинення гуматів, для цього розчин необхідно підігріти до температури 40°С, для чого в оболонь мішалки 1 подається гаряча вода 1г, з температурою гріючого агенту на вході 90°С. Робочий розчин розподіляється по поверхні шару за допомогою конічного диспергатора, а при контакті з високотемпературним носієм, випаровується з поверхні гранул та утворює мікрокристалічний шар, що складається з компонентів робочого розчину.

На виході з гранулятора 5 утворюється відпрацьоване повітря 3в, з якого видаляються залишки робочого розчину, які виносяться у вигляді пилу. Для цього, повітря проходить кілька стадій очистки. Перша стадія очистки відбувається у двох мокрих циклонах 7. Суміш води та пилу, так званий вторинний розчин 32 потрапляє до ємності 2. Повітря із залишками пилу подається на скруббер 8, де за рахунок замкнутого контуру скруббер – ємність 9 концентрується, та надходить до ємності 2. Після чого, вторинний розчин, подається до схеми циркуляції з робочим розчином, оскільки склад вторинного та робочого розчину не відрізняється, відмінна лише його концентрація.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Для того щоб покращити перемішування розчину, та запобігти утворенню осаду на поверхні трубопроводів, в технологічній схемі було встановлено компресор 4.

Гранули 34 вивантажуються на транспортер 14, який виконує функцію розділення гранул за фракціями, після чого вони потрапляють в апарат для фасування 6, а гранули еквівалентний діаметр яких менший заданого до складу з новими центрами грануляції. Після фасування гранульований продукт пакують у мішки з масою 50 кг і відправляють на склад. Гранули дрібної фракції ($< 1,5$ мм) виносяться на склад для нових центрів грануляції 15 і за допомогою розрідження, яке створює вентилятор 10, по гофрованим трубам подаються до гранулятора 5, для реалізації зовнішнього рециклу.

1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

Найважливіше місце в технологічній схемі виробництва гуміново-мінеральних добрив займає гранулятор. Процес грануляції можна здійснювати кількома способами: обкатуванням, пресуванням, екструзією та грануляцією з робочих розчинів.

Процес обкатування проводять в тарілчастих або барабанних швидкісних грануляторах. Він являє собою процес утворення агломератів із подальшим висушуванням отриманих гранул. Недоліком такого способу є значна неоднорідність розподілення компонентів, що виключає можливість виробництва полідисперсного гранульованого продукту, низька механічна міцність гранул, значна кореляція гранул за розмірами.

Отримання гранульованих добрив пресуванням, являє собою отримання брикетів або ж таблеток, за рахунок спресування сухих порошків. Недоліком такого продукту є низька міцність та щільність гранул. Для отримання необхідної міцності, отриманий продукт необхідно досушувати, що призводить до зростання затрат енергії на виробництво.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес екструзії – продавлення пластифікованої маси через спеціальні матриці. Малоефективний для виготовлення гранул з діаметром понад 3 мм. Зважаючи на в'язкість маси, матриці часто забиваються.

Грануляція з робочих розчинів є найбільш ефективною з усіх запропонованих процесів. Оскільки даний спосіб здатен забезпечити гранули заданого дисперсного складу та механічних властивостей. Процес можливо проводити в барабанних сушарках та грануляторах з псевдозрідженим шаром. Оскільки термічний ККД апаратів з псевдозрідженим шаром, значно більший від барабанних сушарок, доцільним буде для лінії виробництва гуміново-мінеральних добрив обрати саме гранулятор із псевдозрідженим шаром, термічний ККД якого складає понад 50%.

Також, важливе місце в технологічній схемі займає апарат з перемішуючим пристроєм, який використовується для виготовлення робочого розчину. Зважаючи на те, що гумати доволі погано розчиняються у воді, і для забезпечення повного розчинення розчин необхідно буде підігріти. Тому доцільним буде використати апарат з оболонню, оскільки проведені розрахунки показали, що у використанні змішувача немає необхідності. Щодо виконання перемішуючого пристрою, зважаючи на об'єм апарата та фізичні властивості розчину, було обрано апарат з якірним перемішуючим пристроєм, який при невеликих обертах здатен забезпечити задовільні показники перемішування.

Обрані апарати повністю задовольняють вимоги до технологічної лінії виробництва гуміново-мінеральних добрив.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 Технічні характеристики основних апаратів установки

Апарат з перемішуючим пристроєм [3]

Робоче середовище розчин сульфату амонію, карбонату та гуматів;

Робочий тиск в апараті, МПа 0,1;

Робоча температура, °C 40;

Температура гріючого агента на вході в оболню, °C 90;

Об'єм, м³ 2,5;

Габаритні розміри:

- висота, мм 3660;
- ширина, мм 1840;
- внутрішній діаметр апарата, мм 1400;
- внутрішній діаметр оболоні 1500;

Маса порожнього апарату, кг 2440;

Максимальна маса при гідровипробуваннях, кг 4340.

Гранулятор з псевдозрідженням шаром

Апарат призначений для гуміново-мінеральних добрив.

Висота шару, м 0,6;

Коефіцієнт живого перерізу ГРП, % 3,2;

Кількість елементів 4;

Робоча температура шару, °C 96;

Температура зріджуючого агента на вході, °C 210;

Габаритні розміри:

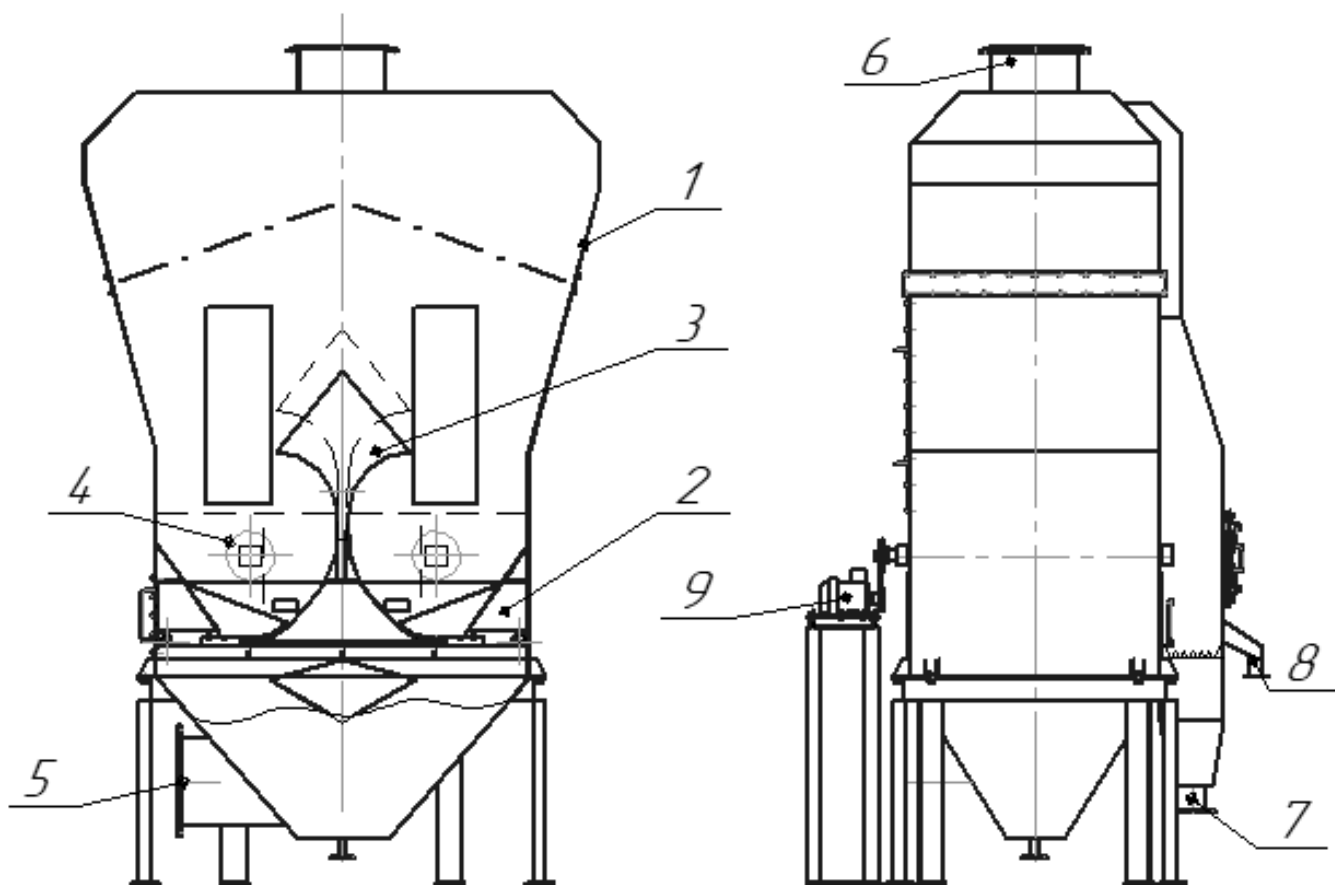
- довжина, мм 2500;
- ширина, мм 2233;
- Висота, мм 4046;

Маса, кг 1650.

3 Опис та обґрунтування вибраних конструкцій апаратів

3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Для виробництва гуміново-мінеральних добрив доцільно використовувати апарат з псевдозрідженим шаром (рисунок 3.1), який дозволяє поєднати в собі чотири енергоємні та дорогі технологічні операції (випаровування, кристалізацію, сушку, перемішування). Це забезпечує підвищення енергетичного ККД більш ніж на 50%, що дозволяє суттєво знизити ціну на кінцевий продукт.



1 – корпус апарату; 2 – ГРП; 3 – направляюча вставка;
4 – диспергатор; 5 – штуцер введення теплоносія; 6 – штуцер виведення теплоносія; 7 – штуцер підведення холодного повітря; 8 – вивантаження готового продукту

Рисунок 3.1 – Гранулятор з псевдозрідженим шаром

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН81мп.066615.001 ПЗ

Арк.

22

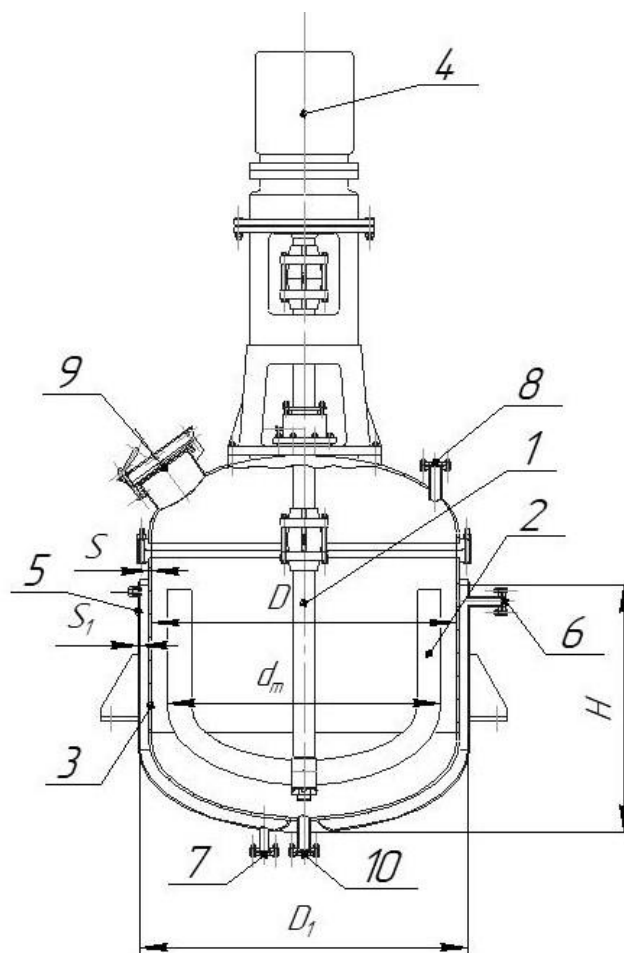
Використання технології грануляції з використанням робочого розчину дозволяє отримати добрива заданого дисперсного складу, та з міцністю понад 10Н на одну гранулу.

Основними вузлами такого апарата є ГРП, диспергатор, направляюча вставка. Газорозподільний пристрій щілинного типу, повинен запобігати утворенню застійних зон на робочих поверхнях, тому необхідно, щоб поверхня ГРП повторювала форму утворюваного горизонтального струменя, а швидкість зріджувально агенту, яка за сталих витрат визначається коефіцієнтом живого перерізу, була достатньою для забезпечення якісного режиму. Для нарощування еквівалентного діаметру гранул, до апарата необхідно подавати робочий розчин, та підтримувати задану температуру шару, близьку до температури плавлення термолабільних компонентів, яка регулюється об'ємними витратами розчину. Розподілення розчину по поверхні шару відбувається за рахунок конічного диспергатора. Направляюча вставка призначена для забезпечення направленої циркуляції шару зернистого матеріалу по технологічним зонам апарата.

Якірна мішалка, що застосовується в технологічній схемі складається з валу 1, на якому закріплюється якірний перемішувач 2. Форма якоря повторює внутрішню поверхню мішалки 3, що запобігає утворенню застійних зон на стінках апарата. У рух перемішувач приводить електродвигун 4 з низькою частотою обертів. Турбулізація потоку ефективно впливає на процес перемішування, але збільшення частоти обертів призводить до збільшення в кубі величини необхідної потужності, крім того, при підвищенні числа обертів, може утворитися ситуація, коли рідина почне просковзувати по стінках, і збільшення числа Рейнольдса не дасть жодних результатів. Враховуючи, що розчин містить гумати, які погано розчинні у воді і легко утворюють осад, як і сульфат амонію, доцільно використовувати мішалку якірного типу, яка запобігає утворенню осаду в апараті та сприяє високій теплопередачі через стінку апарата. Для підвищення розчинності твердих домішок, розчин необхідно підігріти, для цього на апараті встановлюється оболонь 5.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

На рисунку 3.2 зображена схема змішувача в якірним перемішуючим пристроєм.



- 1 – вал; 2 – якірний перемішуючий пристрій; 3 – корпус;
 4 – електродвигун; 5 – оболонь; 6, 7 – штуцер для входу та виходу гріючого агенту; 8 – штуцер подачі води; 9 – люк для подачі твердих компонентів;
 10 – штуцер для виходу робочого розчину.

Рисунок 3.2 – Апарат з якірним перемішуючим пристроєм

Апарат з даним перемішуючим пристроєм здатен забезпечити якісне об'ємне перемішування при невеликих витратах потужності, та запобігти утворенню осаду на внутрішній поверхні стінок апарата.

3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами

Розробляються конструкції гранулятора з псевдозрідженим шаром для виробництва гранульованих гуміново-мінеральних добрив та змішувача призначеного для отримання робочого розчину.

Порівняння основних показників конструкції гранулятора з псевдозрідженим шаром з аналогами описані в таблиці 3.1 [4].

Таблиця 3.1 – Порівняння основних показників конструкції гранулятора з псевдозрідженим шаром, що працює в автоколивальному струменево-пульсаційному режимі з аналогами

Параметр	Гранулятор з псевдозрідженим шаром з автоколивальним струменево-пульсаційним режимом	Барабанна сушарка	Гранулятор з фонтануючим шаром
Продуктивність, кг/год	500(2)	800(3)	300(1)
Коефіцієнт грануляції, %	90 (3)	50 (1)	75 (2)
Енергетичний ККД, %	55 (3)	30 (1)	42 (2)
Вартість обладнання	140 000(3)	180 000(2)	210 000(1)
Міцність гранул, Н/гранулу	10 (3)	4,8 (1)	7,5 (2)
Габаритні розміри, мм	H = 2925, D = 200(2)	H = 13000, D = 800(1)	H = 800, D = 600(3)
Сума балів	16	9	11

Головною перевагою гранулятора з псевдозрідженим шаром є його енергоефективність. Завдяки тому, що працює в автоколивальному струменево-пульсаційному режимі, без використання механічних пульсаторів, вдалося вирішити основну проблему таких апаратів, а саме прибрати застійні зони з робочої поверхні ГРП, що дозволяє проводити тривалий та стійкий процес грануляції. Завдяки тому, що нарощування діаметру відбувається за рахунок кристалізації гетерогенного розчину, можливо досягти якісний гранульований продукт із заданим дисперсним складом, та механічними властивостями.

Порівняння основних показників конструкції апарата з перемішуючим пристроєм з аналогами наведено в таблиці 3.2 [4].

Таблиця 3.2 – Порівняння основних показників конструкції апарата з перемішуючим пристроєм з аналогами

Параметр	Якірна мішалка	Пропелерна	Турбінна мішалка
Діаметр мішалки	1250 (3)	800 (2)	550 (1)
Кількість обертів мішалки, хв^{-1}	0,33 (3)	90 (2)	400 (1)
Потужність приводу, кВт	1 (3)	5,3 (2)	7,5 (1)
Об'єм ємності апарату, м^3	2,5 (3)	2,5 (3)	2,5 (3)
Сума балів	12	9	6

В якірних мішалках профіль лопатей наближається до внутрішньої форми апарата, що виключає ризик утворення осаду на внутрішній поверхні апарату, а незначне число обертів мішалки, так звана тихохідність позитивно впливає на необхідну потужність приводу, проте викликає необхідність у встановленні понижуючого редуктору. Незначна кількість обертів, запобігає утворення піни в апараті, яка характерна для процесу розчинення складових компонентів розчину.

3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

При підборі матеріалів необхідно керуватися технологічними характеристиками, вимогами та областю використання апаратів. Основними параметрами при виборі матеріалів є корозійна стійкість, міцність, вартість, простота оброблення, зварювання.

Гранулятор та апарат з перемішуючим пристроєм, в технологічній схемі виробництва гуміново-мінеральних добрив, працюють в хімічно активному середовищі, при підвищених температурах та піддаються серйозному впливу корозії, що негативно впливає на механічні властивості матеріалів у зв'язку з поступовим зменшенням товщини стінки. Для мінімізації зношення, доцільним буде виготовляти елементи обладнання, які контактують з робочим розчином, з нержавіючих високолегованих хромонікелевих сталей типу сталі 12Х18Н10 ГОСТ 5632-72 [5].

Оскільки обладнання не використовується в харчовій промисловості, домішки нікелю не здатні завдати шкоди здоров'ю людей, тому використання розкислюючого компонента титану (Т) непотрібне, що сприяє зниженню ціни матеріалу понад як у два рази, без зміни механічних властивостей сплаву.

З метою економії, інші елементи апаратів, які не контактують з корозійно активним розчином сульфату амонію виготовляються з відносно дешевої сталі Ст3сп ГОСТ 380-94 [5].

Робоча температура в апараті не перевищує 240 °С, тому прокладки виготовляються із пароніту ПОН-1 ГОСТ 461-80 [5], допустима робоча температура якого знаходиться в межах від -200 до 400 °С, та умовний тиск до 2,5 МПа, що задовольняє робочі умови в апаратах.

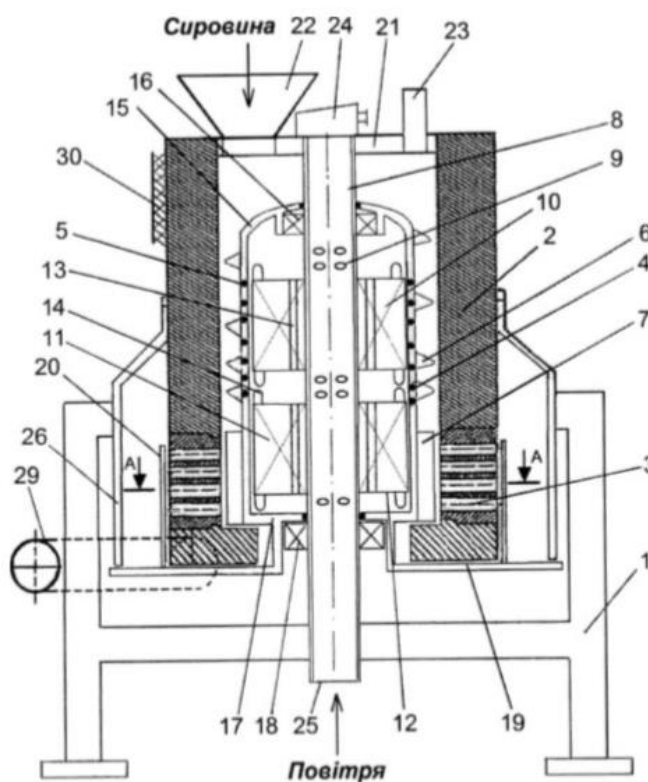
					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Патентний огляд конструкцій гранулятора та апарата з перемішуючим пристроєм

Для встановлення патентної чистоти конструкцій апаратів було проведено патентний пошук.

Для аналізу були обрані патенти [6-15].

В патенті [6] описується гранулятор (рисунок 3.3), який містить статори 10, 11



1 – основа; 2 – перфорована матриця; 3 – перфоровані сегменти;
4 – феромагнітний циліндр; 5, 9 – наскрізні отвори; 6 – гвинтова навивка;
7 – лопаті; 8 – вісь; 10, 11, 27 – статори; 12 – магнітопроводи; 13 –
аксіальні клапани; 14 – електрична обмотка; 15 – верхній щит;
16, 18 – підшипники; 17 – нижній щит; 19 – диск; 20 – ножі; 21 – кришка;
22 – завантажувальний отвір; 23 – патрубок відводу вологи; 24 – пристрій
введення живлення; 25 – патрубок для входу повітря; 26 – огороження;
28 – клиноподібна сторона; 29 – транспортер; 30 – теплоізоляція.

Рисунок 3.3 – Гранулятор

які призводять до нагрівання феромагнітного циліндру 4. Після чого здійснюється попередній прогрів апарата, через завантажувальний отвір 22 до гранулятора подається дрібна фракція, сировина, яка підігрівається, підсушується, перемішується та подається вниз до зони пресування. Через нижній патрубок 25 подається повітря, яке через отвори 9 потрапляє до порожнини феромагнітного циліндру, де підігрівається, та через наскрізні отвори 5 подається до шару сировини, відбирає частину вологи та видаляється через патрубок 23. Завдяки гвинтовій навивці 6, теплоносії рухається тангенційно, що призводить до утворення відцентрового псевдозрідженого шару. Після чого, сировина захоплюється лопатями 7, які спресовують продукт за рахунок пластифікації сировини. Готовий продукт вивантажується через отвір 27, та потрапляє на транспортер 29.

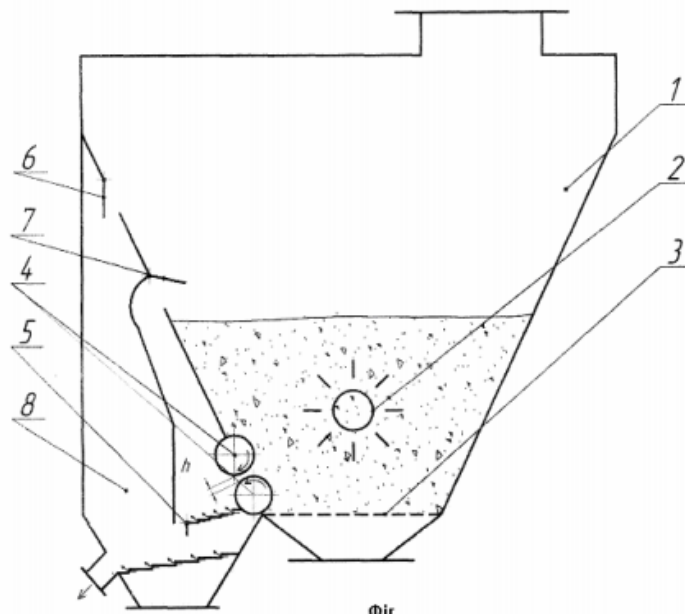
Перевагами даного апарату є поєднання в одному модулі нагрівального, пресувального, фільтраційного та перемішуючого компонентів, проте це є одним із основних його недоліків. Апарат має значну кількість обертових елементів, що значно підвищує його вартість виготовлення та обслуговування. Оскільки грануляція здійснюється шляхом пресування, неможливо отримати гранули з необхідним дисперсним складом, міцність такого продукту невисока, апарат не придатний для грануляції термолабільних компонентів, через тривалий контакт продукт з гарячими стінками феромагнітного циліндру.

У винаході [7] описується апарат для неоднорідного псевдозрідження шару в автоколивальному режимі (рисунок 3.4), який складається з камери 1, яка містить диспергатор 2 та газорозподільний пристій 3, вивантаження гранульованого продукту здійснюється з сепараторів фракції 6, 7, 8 валків 4 шляхом відкриття шибери 5.

Щоб забезпечити стійкість кінетики процесу при грануляції добрив із заданими властивостями та відповідної якості у грануляторі із псевдозрідженим шаром необхідною умовою є дотримання балансової задачі між продуктом, що вивантажується у якості готової продукції та новими центрами грануляції. Таким

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

чином, кількість частинок в камері апарату з заданим діаметром повинна бути сталою.



1 – камера гранулятора; 2 – диспергатор; 3 – газорозподільний пристрій;
4 – валки циліндричної форми; 5 – шибєр; 6, 7, 8 – сепаратори фракцій.

Рисунок 3.4 – Гранулятор

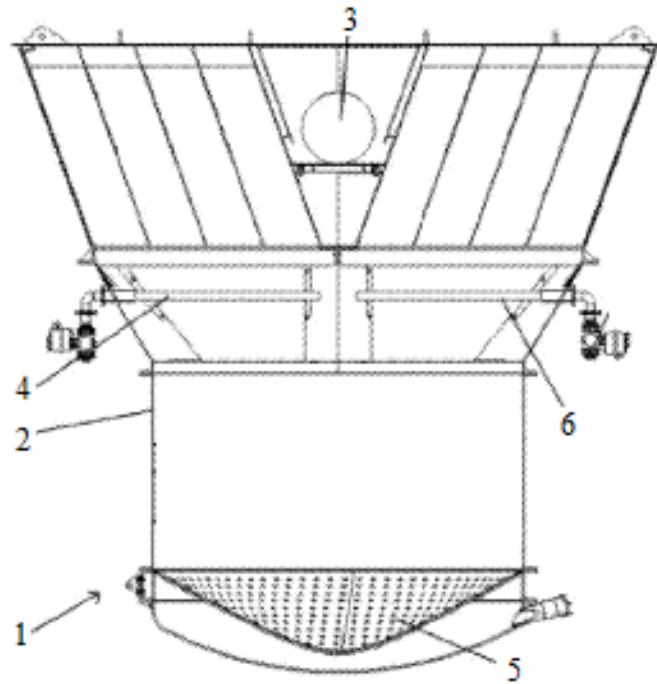
Тому ця задача вирішується компенсацією зменшення кількості частинок за рахунок використання збоку апарата подрібнювача селективної дії. Це допоможе підтримувати заданий дисперсний склад шару матеріалу в грануляторі.

Недоліком цієї конструкції є: мала ефективність проведення процесу грануляції через відсутність циркуляції матеріалу через технологічні зони гранулятора, оплавлення гранул при використанні високотемпературного зріджувального агента (утворення малорухливих ділянок на поверхні ГРП), агломерація матеріалу.

Корисна модель апарата [8] (рисунок 3.5), містить штуцери для входу 1 та виходу 3 зріджувального агенту, який проходить через газорозподільний пристрій 5 та створює в апараті барботажний режим псевдозрідження. Робочий розчин подається по перфорованим трубам 4, 6 та потрапляє на поверхню шару

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

зернистого матеріалу, після чого випаровується, та утворює новий кристалічний шар на поверхні гранул.



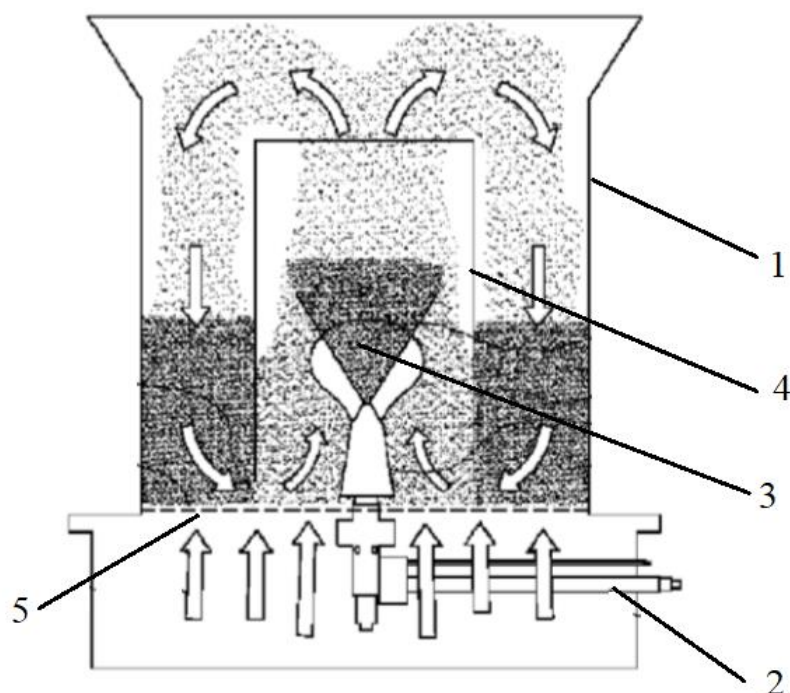
1 – штуцер підведення теплоносія; 2 – корпус апарата; 3 – вихід теплоносія; 4, 6 – перфоровані труби для розподілення робочого розчину.

Рисунок 3.5 – Гранулятор з барботажем режимом псевдозрідження

Недоліком даного апарату, є барботажний режим псевдозрідження, адже при процесі грануляції термолабільних компонентів на поверхні газорозподільного пристрою утворюються оплавлення. Також, апарат немає чіткого поділу на технологічні зони, що унеможливорює утворення гранул із заданими механічними властивостями, призводить до утворення агломератів.

У патенті [9] (рисунок 3.6), наведена конструкція гранулятора з фонтануючим шаром. Через патрубок 2, подається зріджувальний агент, який спричиняє інерційне винесення зернистого матеріалу, на який одночасно подається робочий розчин за допомогою форсунки 3. Зволожений продукт, виноситься за переливний пристрій 3, та потрапляє до зони релаксації, після чого, сухі гранули знову потрапляють до зони висхідного потоку, процес повторюється багаторазово, до досягнення гранулами необхідного заданого діаметру.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

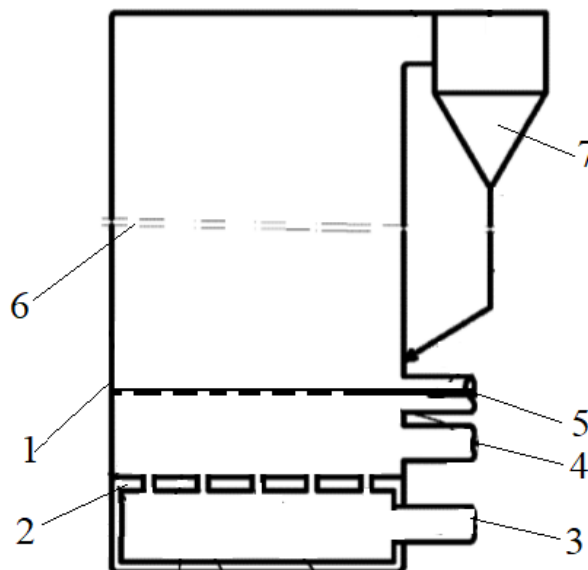


- 1 – корпус апарата; 2 –штуцер для підведення зріджуючого агенту;
 3 – форсунка для подачі робочого розчину; 4 – переливний пристрій;
 5 – газорозподільний пристрій

Рисунок 3.6 – Апарат з фонтануючим шаром

Перевагою такого апарата є реалізація направленої циркуляції зернистого матеріалу, що дозволяє отримати гранули з заданим складом та фізичними властивостями. Недоліком є використання для подачі робочого розчину форсунки, що унеможлиблює використання гетерогенних розчинів,крім того, реалізація фонтануючого шару потребує значних затрат енергії.

Корисна модель [10] (рисунок 3.7), містить корпус 1, в якому встановлений газорозподільний пристрій 2, особливістю якого є поділ на секції, в яких верхня частина рештки ізольована від нижньої матеріалом з низькою теплопровідністю.



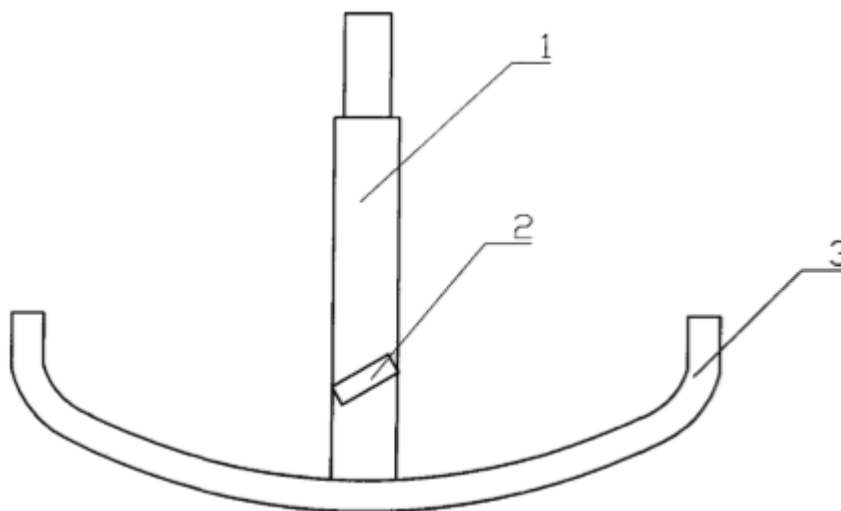
1 – корпус; 2 – ГРП; 3 – штуцер для підведення теплоносія;
 4 – подача початкового шару матеріалу; 5 – подача робочого розчину;
 6 – відбійник; 7 – циклон

Рисунок 3.7 – гранулятор

Таким чином вдається зменшити температуру на поверхні ГРП, та зменшити оплавлення матеріалу. Зріджувальний агент підводиться через штуцер 3. Для подачі робочого розчину використовується розподільувач 5. Для запобігання винесенню значного шару матеріалу, в апараті встановлений відбійник 6 та циклон 7, який повертає винесені гранули малого діаметру назад до апарату.

Перевагою такого апарата, є спроба усунення застійних зон на поверхнях ГРП, проте, нижня та бокові стінки не ізолювані від верхньої пластини, зважаючи на значну теплопровідність сталі, на поверхні всерівно буде утворюватися оплавлення. Дане виконання, передбачає що решітка буде провальною, тобто гранульований продукт зможе просипатися під поверхню ГРП, крім того, збільшення висоти отворів для подачі зріджувального агенту призводить до збільшення опору решітки в цілому. Барботажний режим псевдозрідження, не здатен забезпечити направлену циркуляцію матеріалу, тому можлива значна розбіжність у дисперсному складі гранул та їх механічних властивостях.

У патенті [11] (рисунок 3.8) описується пристрій для перемішування рідини що містить вал, на якому закріплені горизонтальні лопаті 2 та якірний перемішуючий пристрій 3. Лопаті та якір мають жорстке закріплення без можливості регулювання чи заміни.



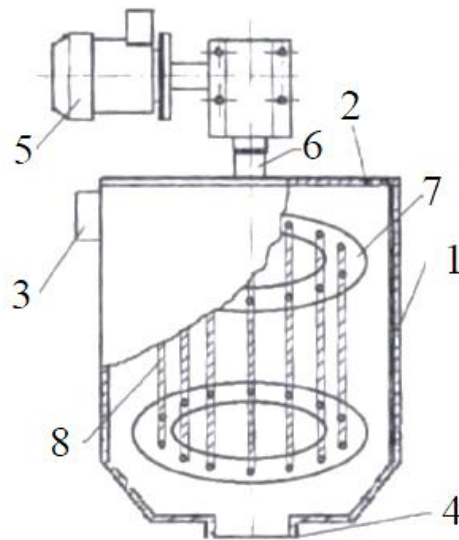
1 – вал перемішуючого пристрою; 2 – поперечні плоскі лопаті;
3 – якірний перемішуючий пристрій.

Рисунок 3.8 – Якірний перемішуючий пристрій

Така конструкція не складна у виготовленні, здатна забезпечити об'ємне перемішування при незначному числу обертів та значно підвищує інтенсивність та ефективність перемішування, що призводить до зменшення часу необхідного на перемішування. Даний тип мішалки підходить для перемішування рідких середовищ та суспензій. Недоліком конструкції є підвищена металоємність в порівнянні зі стандартними якірними мішалками та можливість утворення осаду на верхній частині стінок змішувача, оскільки форма якору не повністю повторює форму апарата.

Корисна модель [12] лопатевої мішалки (рисунок 3.9), має корпус 1, та плоску кришку 2, вхідний 3 та вихідний 4 патрубки. Привід 5, передає обертовий рух на вал 6, на якому закріплені обертові диски 7. Перемішуючий пристрій виконано у вигляді “білячої клітки”, складається принаймні з двох дисків 7, які

з'єднані між собою за допомогою поворотних лопатей 8. Завдяки такому виконанні перемішуючого пристрою в середині апарата утворюється однорідне інтенсивне поле швидкостей та турбулентності, що дозволяє забезпечити якісне об'ємне перемішування висококонцентрованих суспензій.



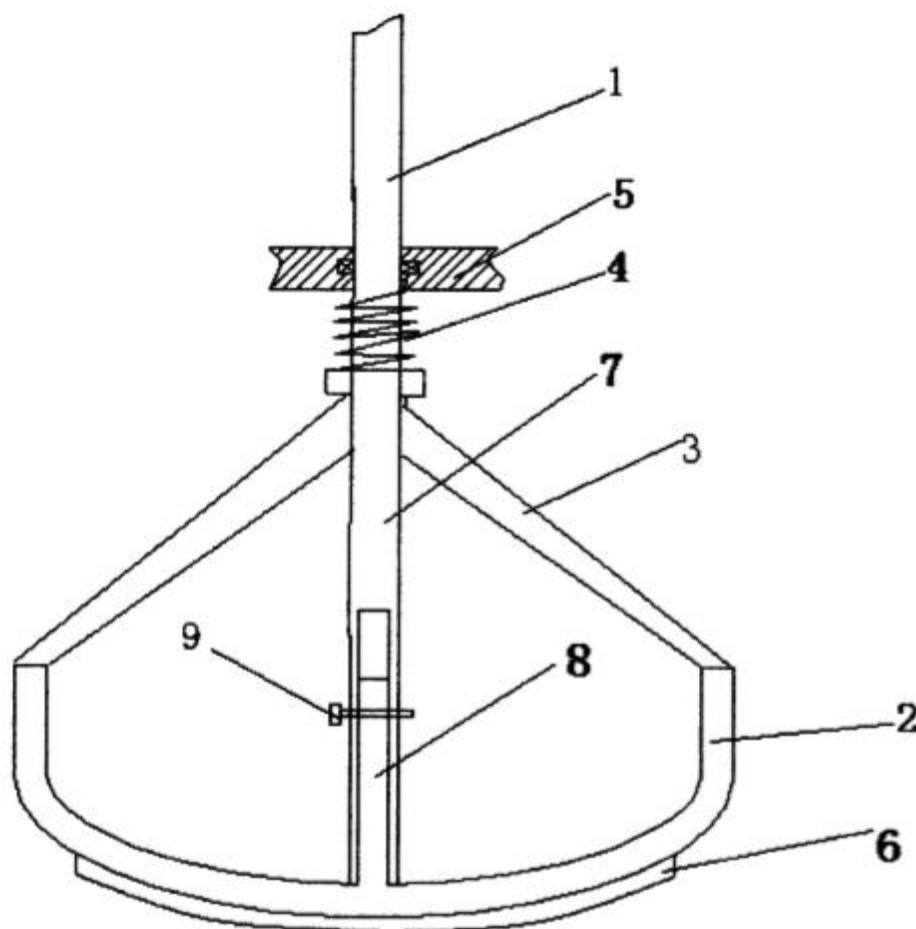
- 1 – корпус; 2 – кришка; 3, 4 – вхідний та вихідний патрубки;
 5 – привід; 6 – вертикальний обертовий вал; 7 – обертові диски;
 8 – поворотні лопаті

Рисунок 3.9 – Лопатева мішалка

Недоліком даної конструкції є значне навантаження на обертові елементи, так як поверхня контакту перемішуючого пристрою з суспензією є значною, для перемішування необхідно затратити значну кількість енергії, що вимагає встановлення більш потужного приводу та збільшує навантаження на підшипники, що призводить до зменшення їх періоду експлуатації.

Корисна модель [13] якірної мішалки (рисунок 3.10), має вал 1, який закріплений в підшипниковому вузлі 5, між підшипником та перемішуючим пристроєм встановлено пружний елемент 4, який притискає елементи 3 та 7 до лопатей якорю 8 та 2. Елементи 3 та 7 являють собою лопатеві перемішуючі пристрої встановлені під кутом. Якір перемішуючого пристрою кріпиться на валі 1 з допомогою штифта 9. Для зменшення утворення застійних зон в нижній

частині змішувача, на якорі встановлена додаткова пластина 6. Завдяки такому виконанні перемішуючого пристрою в середині апарата утворюється однорідне інтенсивне поле швидкостей та турбулентності, що дозволяє забезпечити якісне об'ємне перемішування висококонцентрованих суспензій.

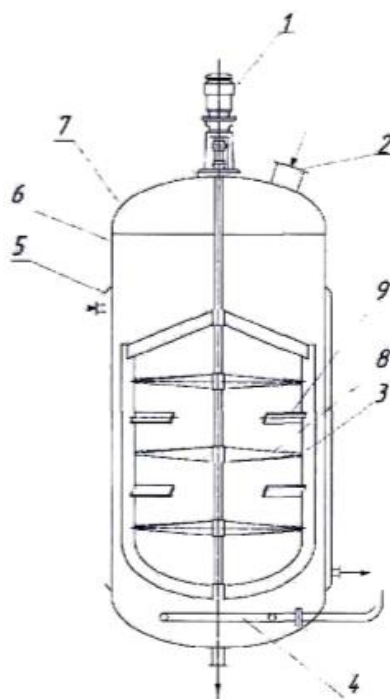


1 – вал перемішуючого пристрою; 2, 8 – якорі; 3, 7 – лопаті;
5 – підшипниковий вузол; 6 – пластина; 9 – штифт

Рисунок 3.10 – Перемішуючий пристрій

Недоліком даної конструкції є складність у виготовленні та металоємність, що підвищує її вартість. Через значну поверхню контакту обертових елементів та розчину виникає значне навантаження на обертові елементи, що призводить до зменшення строку служби підшипникового вузла, як наслідок апарат потребує частішого технічного обслуговування.

Корисна модель [14] рамної мішалки (рисунок 3.11) містить корпус 6, в якому встановлений рамний перемішуючий пристрій 3, який нерухому закріплено на валі, що приводиться в обертання за допомогою приводу 1. Задля забезпечення інтенсифікації процесу перемішування до рами перемішуючого пристрою приварені додаткові гвинтові перегородки 8 та пластини 9, які встановлюються під кутом, що дозволяє створити вертикальні складові потоку, тобто реалізувати



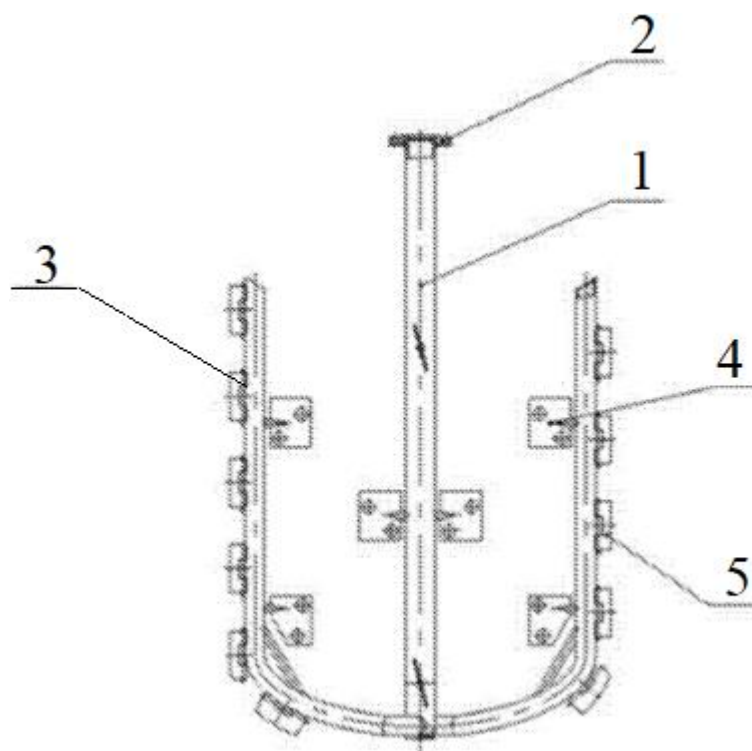
1 –привід, 2 –штуцер для входу суміші, 3 – рамний перемішуючий пристрій,
4 – барботер, 5 – оболонь, 6 – корпус, 7 – кришка, 8 – перегородки,
9 – пластини.

Рисунок 3.11 – Апарат з рамним перемішуючим пристроєм

об'ємне перемішування. Для інтенсифікації процесу також використовується барботер 4, а для підвищення швидкості розчинення компонентів на корпусі апарата встановлено оболонь 5. Використання рамної мішалки запобігає утворенню осаду на поверхні стінок, та не потребує приводу зі значною потужністю, проте низьке число обертів валу вимагає встановлення понижуючого редуктору.

Недоліком даного пристрою можна вважати наявність барботеру, адже при змішуванні робочого розчину на поверхні рідини буде утворюватися піна, що буде заважати протіканню процесу.

Мішалка для перемішування рідких середовищ та суспензій [15] (рисунок 3.12), складається з валу 1, який закріплюється на підшипниковому вузлі 2. До валу приєднаний якірний перемішуючий пристрій на якому закріплені поперечні 4 та повздовжні пластини 5, призначені для турбулізації потоку. Крім того сам якір виконано у формі літери Z, що чинить позитивний вплив на інтенсивність перемішування. Таке виконання характеризується відсутністю застійних зон, зменшенням часу необхідного на розчинення компонентів.



1 – вал; 2 – підшипниковий вузол; 3 – поперечні лопаті;
4 – повздовжні лопаті.

Рисунок 3.12 – Якірний перемішуючий пристрій

Дана конструкція складна у виготовленні, оскільки пластини 4 та 5 мають можливість регулювання, що потребує використання додаткових механізмів, які буде складно очистити від осаду, який утвориться в результаті перемішування

суспензій. Крім того, її буде складно збалансувати, що може призвести до виникнення ексцентриситету, який створюватиме додаткова навантаження на вал перемішуючого пристрою, та призведе до перекошування підшипників, що пришвидшить їхнє зношування.

Висновок: В результаті проведених досліджень, встановлено, що розроблені конструкції гранулятора з псевдозрідженим шаром, та апарата з якірним перемішуючим пристроєм відповідають сучасним технологічним вимогам та не поступаються існуючим аналогам. У сучасних моделях апаратів, основна увагу приділяється інтенсифікації процесів та мінімізації затрат енергії. Документація до патентного пошуку наведена в додатку В.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

4.1 Наукові дослідження

4.1.1 Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності процесу грануляції при неоднорідному струменево-пульсаційному псевдозрідженні.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі задачі дослідження:

- обґрунтувати фізичну модель взаємодії газу із зернистим матеріалом при реалізації пульсаційного псевдозрідження;
- визначити висоту пробою газового струменю при зміні коефіцієнту живого перерізу ГРП в діапазоні $4,9 \leq \phi \leq 3,2$;
- експериментально визначити вплив конструктивних особливостей ГРП та камери гранулятора на реалізацію неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження у стійкому автоколивальному режимі без утворення застійних зон на робочих поверхнях при відношенні висоти пробою газового факела до початкової висоти шару $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2 \div 0,24$;
- провести оцінку якості гідродинаміки неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження при відношенні $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2 \div 0,24$;
- визначити залежність розмірів газової бульбашки від висоти шару зернистого матеріалу та її вплив на інерційне винесення матеріалу.

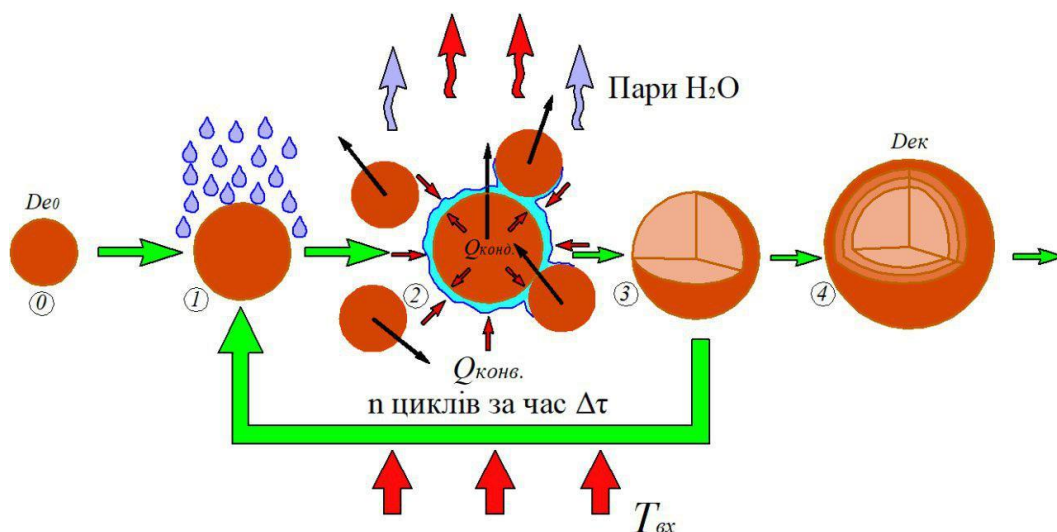
Об'єкт дослідження – гідродинаміка неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження

Предмет дослідження – якісні характеристики гідродинаміки неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.2 Фізична модель процесу грануляції гуміново-мінеральних добрив з рідких гетерогенних систем у апараті із псевдозрідженим шаром

Механізм утворення гранульованого продукту пошарової структури зображена на рисунку 4.1.



0 – центр грануляції; 1 – розподілення рідкої гетерогенної фази по поверхні гранул; 2, 3 – видалення вологи та кристалізація з утворенням мікросферу на поверхні частинки; 4 – утворений гранульований продукт заданого розміру

Рисунок 4.1 – Механізм утворення гуміново-мінеральних добрив пошарової структури

На початковій стадії 0, рисунок 4.1, відбувається завантаження початкових центрів грануляції із еквівалентним діаметром D_{e0} до апарата, та підігрівання їх до температури $T_{ш} = 90...96$ °С, шляхом підведення нагрітого теплоносія із температурою $T_{вх}$ і швидкістю $w_{г}$, що перевищує критичну швидкість початку псевдозрідження $w_{кр}$. Після чого, до апарата подається робочий розчин, який рівномірно розподіляється по поверхні гранул, стадія 1. На стадії 2 до змоченої гранули підводиться теплота разом із теплоносієм, як конвективно $Q_{конв}$ (від теплового агента) так і кондуктивно $Q_{конт}$ (від нагрітої гранули), при цьому необхідно запобігти перезволоженню та утворенню агломератів. Для цього час перебування гранул у зоні зрошення повинен бути якомога меншим, а зволожені

гранули необхідно розподілити між сухими. Далі відбувається масова кристалізація, стадія 3, що супроводжується утворенням мікрошару кристалів на поверхні гранули зі збільшенням її діаметра.

Циклічне проходження стадій 1–3 відбувається багатократно до досягнення заданого кінцевого розміру гранульованого продукту за час Δt . Заданий кінцевий діаметр частинок $D_{ек}$ розраховується за формулою [18]:

$$D_{ек} = D_{e(i)} + \lambda_{сер} \Delta t,$$

де $\lambda_{сер}$ – середня лінійна швидкість росту гранул, що визначається з масових витрат сухих речовин, які надходять до гранулятора із робочим розчином за час Δt , мм/год.

Гранули, які досягли заданого розміру, стадія 4, відводяться з апарату у виді гранульованого продукту.

Наведений пошаровий механізм грануляції гуміново-мінеральних добрив можливо реалізувати в апараті з псевдозрідженим шаром. Для цього в камері гранулятора необхідно реалізувати гідродинамічний режим псевдозрідження, при якому забезпечується активна циркуляція зернистого матеріалу із послідовним проходженням через необхідні технологічні зони грануляції: зрошення, релаксації та інтенсивного тепломасообміну, рисунок 4.2, відповідно до положень моделі грануляції, наведеної на рисунку 4.1.

Отримання гранульованих орґано-мінеральних добрив є складним тепло-масообмінним процесом, лімітуючою стадією якого є масова кристалізація.

При цьому початкова висота шару зернистого матеріалу H_0 визначається з умов масообміну:

$$M = \beta \Delta P_{м.о.} F_{м.о.}$$

де β – коефіцієнт масовіддачі; $F_{м.о.}$ – поверхня масообміну; $\Delta P_{м.о.}$ – рушійна сила, виражена через парціальний тиск:

$$\Delta P_{м.о.} = P_{нас.}^* - P_{роб.},$$

де $P_{нас.}^*$ – тиск насичення; $P_{роб.}$ – робочий тиск.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

величина якого впливає на значення коефіцієнта масовіддачі β . Зменшення товщини дифузійного прошарку можливо досягти за рахунок інтенсивного об'ємного перемішування, при якому зволожені гранули, контактуючи з сухими, передавали б частину отриманої після зони зрошення вологи.

Отже інтенсифікація дифузійно контрольованих процесів при грануляції комплексних рідких систем необхідно забезпечити активний гідродинамічний режим псевдозрідження при підвищених значеннях висоти шару, при якому забезпечується активне об'ємне перемішування зернистого матеріалу.

Для забезпечення пошарового механізму грануляції відповідно до фізичної моделі, наведеної на рисунку 4.1 та 4.2, у разі застосування зріджувального агенту-теплоносія із температурою, що значно перевищує температуру плавлення окремих компонентів гранул необхідно забезпечити виконання наступних вимог до гідродинаміки [18-19]:

- інтенсивна циркуляція в об'ємі шару по всій висоті з одночасним винесенням за межі початкового шару (H_0) не менше 30% маси зернистого матеріалу з частотою більше 1 Гц, без винесення шару за межі апарата;
- мінімізація та усунення застійних зон на робочій поверхні ГРП;
- підвищення інтенсивності дифузійно-контрольованих процесів при наявності фазового переходу.

За результатами попередніх досліджень [18-19] встановлено, що досягти виконання наведених вимог до гідродинаміки можливо при застосуванні неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження.

4.1.3 Фізична модель неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі

Особливість такого способу взаємодії газової фази із твердим матеріалом полягає в тому, що висота пробою газового факела значно менша висоти нерухомого шару, визначеної з умов масообміну – $z_{\phi}/H_0 \leq 0,33$ [18].

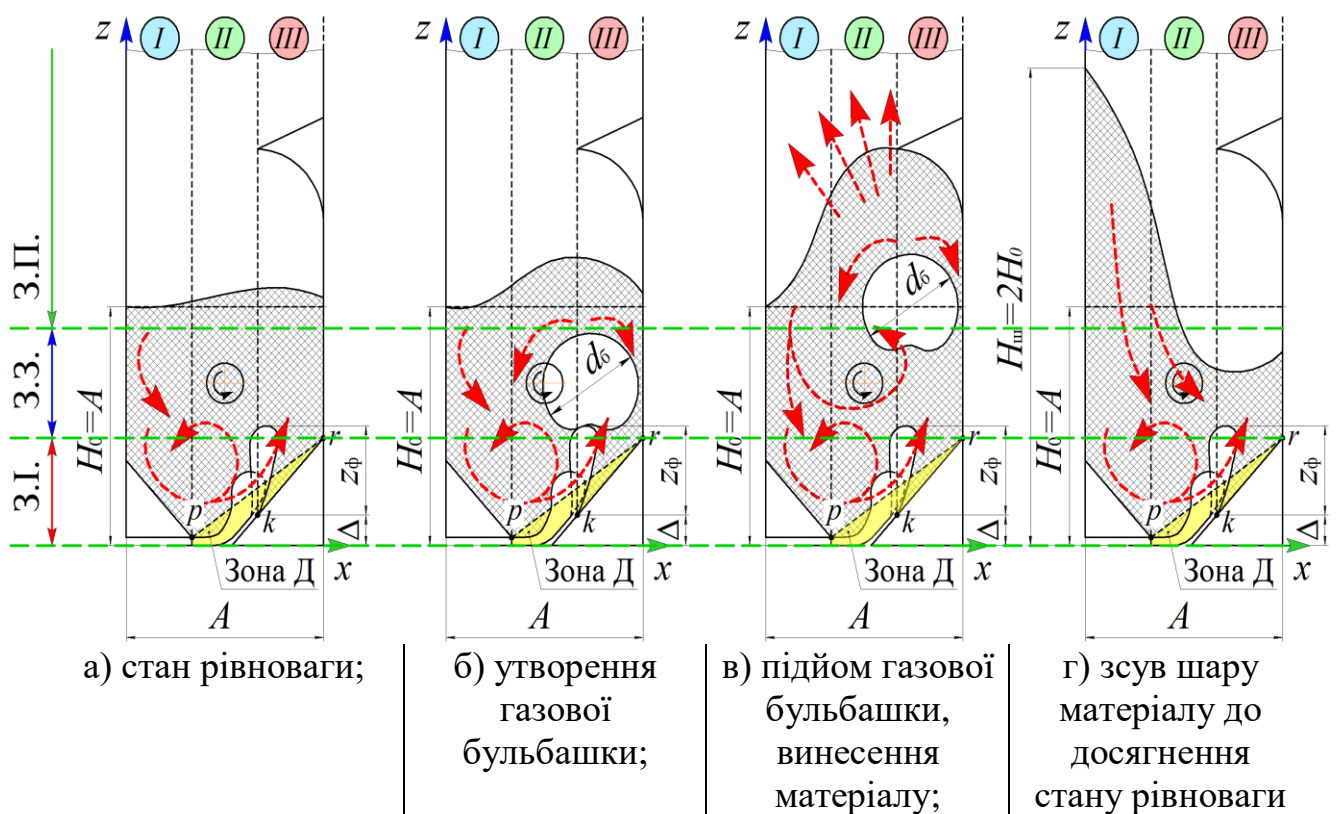
					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Автоколивальний неоднорідний струменево-пульсаційний режим псевдозрідження, рисунок 4.3, детальний опис якого наведено авторами [18-19] забезпечується при дворівневому асиметричному введенні зріджувального агенту в камеру гранулятора і проходить у декілька стадій:

- 1 – утворення газової бульбашки – τ_1 , рисунок 4.3 а, б;
- 2 – інерційний викид зернистого матеріалу із зон II і III в надшаровий простір та перенаправлення його до зони релаксації I – τ_2 , рисунок 4.3 б;
- 3 – інтенсивне переміщення зернистого матеріалу із зони I до утворених пустот у зонах II та III із поверненням шару до стану рівноваги – τ_3 , рисунок 4.3 в.

Загальна тривалість циклу, с:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3.$$



3.I – зона інтенсивного тепло-масообміну; 3.3. – зона зрошення; 3.П. – зона переміщення шару зернистого матеріалу

Рисунок 4.3 – Фізична модель струменеві-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі при $H_0=A$; $z_{\phi}/H_0=0,33$

Запропонована модель неоднорідного псевдозрідження дозволяє реалізувати тривимірне перемішування гранул в апараті з проходженням через всі технологічні зони, забезпечуючи активне оновлення поверхні контакту фаз, що підтверджено результатами досліджень [19] при висоті нерухомого шару $H_0 \approx A = 0,32$ м.

При підвищенні початкової висоти шару з метою інтенсифікації дифузійно-контрольованих систем відбувається пропорційне збільшення поверхні контакту фаз із відповідним підвищенням опору шару:

- при підвищенні висоти шару від $H_{0(0)} = 0,32$ м до $H_{0(1)} = 0,42$ м:

$$\frac{\Delta P_{\text{шару}_1}}{\Delta P_{\text{шару}_0}} = \frac{H_{0(1)}(1 - \varepsilon_0)\rho_{\text{тв}}g}{H_{0(0)}(1 - \varepsilon_0)\rho_{\text{тв}}g} = \frac{0,42}{0,32} = 1,31 \rightarrow \Delta P_{\text{шару}_1} = 1,31 \cdot \Delta P_{\text{шару}_0}$$

- при підвищенні висоти шару від $H_{0(0)} = 0,32$ м до $H_{0(1)} = 0,52$ м:

$$\frac{\Delta P_{\text{шару}_2}}{\Delta P_{\text{шару}_0}} = \frac{H_{0(2)}(1 - \varepsilon_0)\rho_{\text{тв}}g}{H_{0(0)}(1 - \varepsilon_0)\rho_{\text{тв}}g} = \frac{0,52}{0,32} = 1,625 \rightarrow \Delta P_{\text{шару}_2} = 1,625 \cdot \Delta P_{\text{шару}_0}$$

- при підвищенні висоти шару від $H_{0(0)} = 0,32$ м до $H_{0(1)} = 0,6$ м:

$$\frac{\Delta P_{\text{шару}_2}}{\Delta P_{\text{шару}_0}} = \frac{H_{0(3)}(1 - \varepsilon_0)\rho_{\text{тв}}g}{H_{0(0)}(1 - \varepsilon_0)\rho_{\text{тв}}g} = \frac{0,6}{0,32} = 1,875 \rightarrow \Delta P_{\text{шару}_2} = 1,875 \cdot \Delta P_{\text{шару}_0},$$

де $H_{0(0)}$ – висота шару для якої авторами [18], були встановлені якісні показники гідродинамічного режиму; $H_{0(1)}, H_{0(2)}, H_{0(3)}$ – змінена висота початкового шару матеріалу з метою інтенсифікації масообмінних процесів.

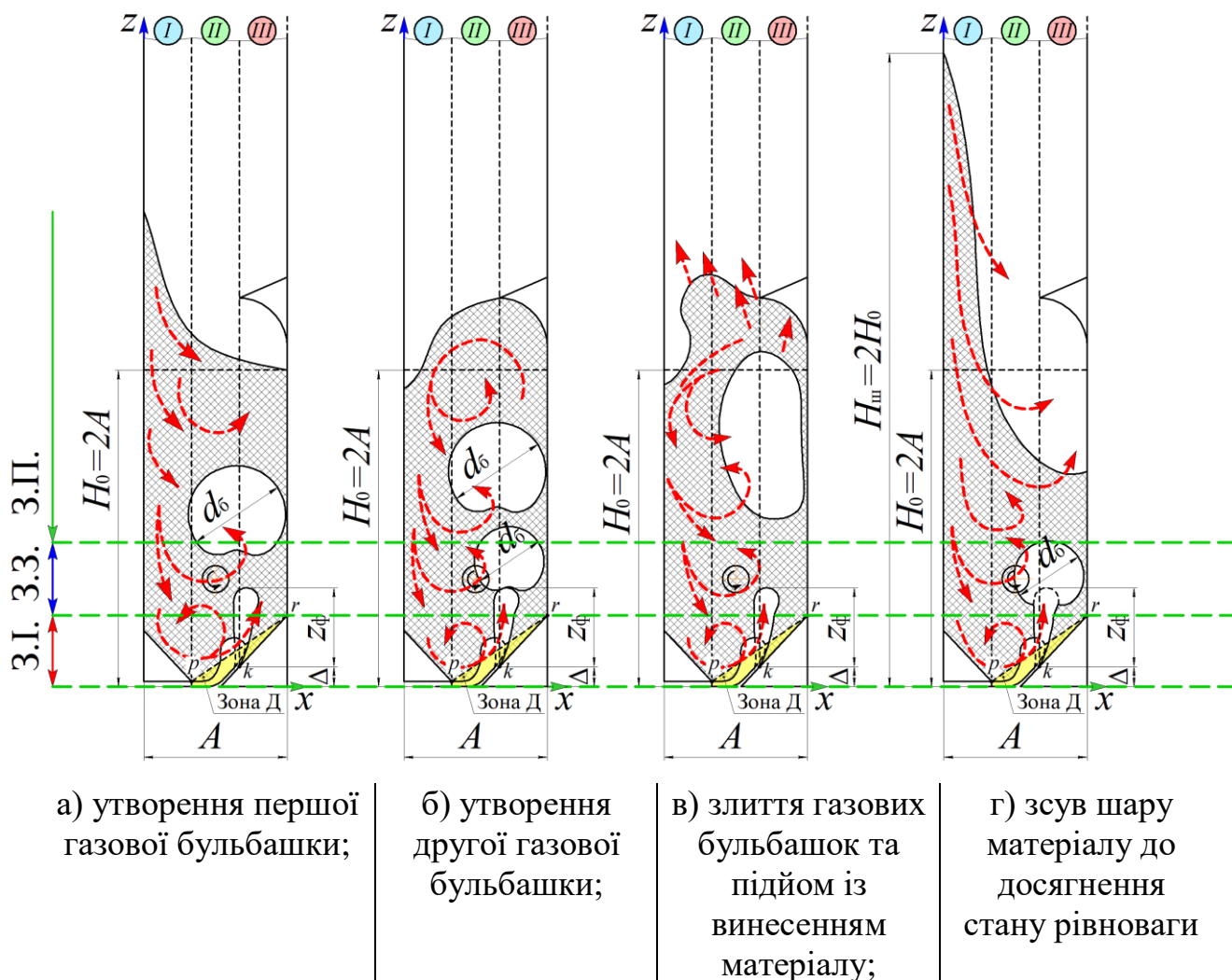
Разом з цим, збільшення висоти початкового шару H_0 призводить до збільшення діаметру газової бульбашки [19]:

$$d_{61} = \frac{H_0 - z_{\Phi} - \Delta}{1 + \frac{\pi}{4}},$$

Тоді фізичну модель неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження при збільшенні початкової висоти шару до $H_0 = 2A$ та $z_{\Phi}/H_0 \leq 0,25$ можна представити у наступному вигляді, рисунок 4.4.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

У даному випадку, коли $H_0=2A$, як і при $H_0=A$ у точці k відбувається злиття двох струменів – горизонтального (із точки p) і вертикального (із точки k), що призводить до утворення об'єднаного газового факела із висотою пробою z_ϕ .



З.І – зона інтенсивного тепло-масообміну; З.З. – зона зрошення; З.П. – зона переміщення шару зернистого матеріалу

Рисунок 4.4 – Фізична модель струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі при $H_0=2A$; $z_\phi/H_0 \leq 0,25$

Оскільки висота нерухомого шару $H_0=2A$ більша за висоту пробою газового факела $z_\phi/H_0 \leq 0,25$ – на його вершині починає утворюватися газова бульбашка, яка при досягненні максимального розміру відривається від нього і починає вертикальний рух, рисунок 4.4 а. При її підйомі на висоту, що становить $H_{\text{підйому}}/z_\phi \leq 0,5$ на вершині факела z_ϕ починає формуватися наступна бульбашка до

досягнення максимального розміру, рисунок 4.4 б, після чого вона вибухає всередину попередньої. Це супроводжується утворенням одної масивної, продовгуватої по вертикалі газової бульбашки, рисунок 4.4 в, яка при виході з шару, як і у попередньому випадку, спричинює інерційне винесення зернистого матеріалу в надшаровий простір зони II та III, рисунок 4.4 в. Після контакту із направляючою вставкою 3 тверді частинки переміщуються в зону I, після чого прискорено повертаються до початкового об'єму шару до досягнення стану рівноваги, рисунок 4.4 г.

Під час повернення гранульованого продукту в початкове положення відбувається протитечійний рух гранул з теплоносієм [20], що значно підвищує величину рушійної сили масообміну. Окрім того, у зоні I рух газового теплоносія відбувається виключно у фільтраційному режимі, який є оптимальним для забезпечення ефективного теплообміну.

Разом з цим, застосування неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження при збільшеній висоті шару забезпечує утворення трьох циркуляційних контурів: у зоні інтенсивного тепло-масообміну (З.І.), у зоні зрошення (З.З.) та у зоні переміщення шару зернистого матеріалу (З.П.). Тобто, інтенсивне об'ємне перемішування забезпечується по всій висоті шару.

Тому, застосування неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження зі збільшеною висотою шару дозволяє підвищити інтенсивність дифузійно контрольованих систем.

При цьому, збільшення гідравлічного опору шару зернистого матеріалу у 1.875 раз обумовлює необхідність у збільшенні енергії газового струменя, що вводиться горизонтально в точці p та вертикально в точці k для мінімізації ризику утворення застійних зон на поверхні ГРП, що при підведенні теплоносія із температурою значно вищою за температуру плавлення компонентів гранул призводить до оплавлення матеріалу:

$$E_{k(t,p)} = \frac{m_1 \cdot w_{ш(1)}^2}{2}; \quad E_{k(t,k)} = \frac{m_2 \cdot w_{ш(2)}^2}{2},$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

де m_1 та m_2 – масові витрати зріджувального агенту в точках p і k відповідно, кг/с;
 $w_{\text{щ}}$ – швидкість газу в щілинах ГРП, м/с (прийнято, що $w_{\text{щ}} = w_{\text{щ1}} = w_{\text{щ2}}$).

Оскільки витрати зріджувального агенту, m_1 та m_2 , визначені з умов тепло-масообміну, збільшувати значення кінетичної енергії необхідно за рахунок підвищення швидкості зріджувального агенту в щілинах ГРП.

Швидкість газу в щілинах визначається за виразом:

$$w_{\text{щ1}} = \frac{Q}{\varphi \cdot A \cdot B}, \quad (4.1)$$

де Q – об’ємні витрати повітря при даній температурі, визначені з умов масообміну, м³/с; A , B – геометричні розміри апарата в перетині ГРП; φ – коефіцієнт живого перерізу ГРП, %.

З виразу (4.1) випливає, що збільшення швидкості газу в щілинах можливо досягти при зменшенні коефіцієнта живого перерізу ГРП – φ :

$$\varphi = \frac{F_{\text{щ}}}{AB} 100\% = \frac{h_1 l_1 + h_2 l_2}{AB} 100\%, \quad (4.2)$$

де $F_{\text{щ}}$ – сумарна поверхня щілин, м²; h_1 та h_2 – висоти щілин ГРП, м;
 l_1 та l_2 – довжини щілин ГРП, м.

Таким чином, з врахуванням (4.2) коефіцієнт живого перерізу ГРП зменшується за рахунок зменшення довжини щілин l_1 та l_2 зі збереженням встановленого авторами [18-19] співвідношення між ними: $l_2 = 0,7l_1$, рисунок 4.5.

Разом з тим, при виході газової бульбашки з шару при недостатній висоті сепараційного простору в камері апарата відбувається інерційне винесення твердих частинок з апарату. Уникнути цього негативного явища можливо при застосуванні еластичної сітки-відбійника, встановленої у верхній частині камери гранулятора. Тому необхідно дослідним шляхом перевірити наявність інерційного винесення гранул та ефективність їх вловлювання еластичним відбійником.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недостатньо, в зоні Д починає утворюватися застійна або малорухома зона δ , рисунок 4.6, що може призвести до оплавлення гранул на робочій поверхні ГРП.

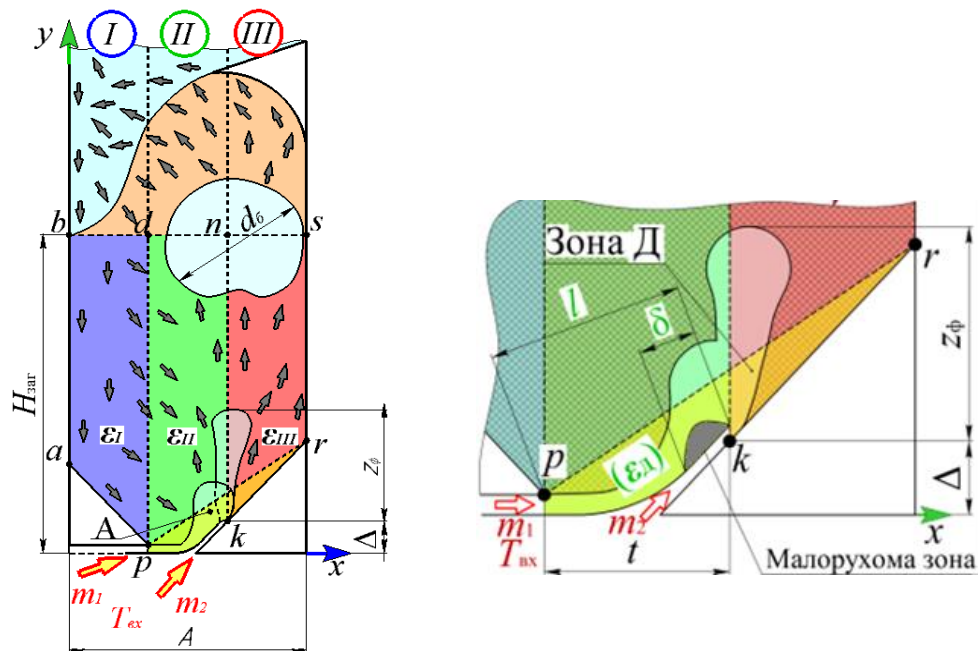


Рисунок 4.6 – Схема до визначення якості гідродинамічного режиму

Для якості гідродинамічного режиму, авторами [18] запропоновано використовувати модифіковану функцію професора Тагуті, що враховує:

- 1) відхилення порозності в зоні Д від заданої $\varepsilon_D=0,85$;
- 2) відхилення довжини застійної зони δ від допустимої, яка дорівнює 1% від загальної довжини пластини ГРП.

Схема для визначення втрат якості гідродинаміки за методом Тагуті наведено на рисунку 4.7.

Модифікована функція втрат якості за Тагуті має вигляд:

$$L_D = K_1 \left([\varepsilon_D] - \varepsilon_D \right)^2 + K_2 \left(\frac{\delta - [\delta]}{l} \right)^2,$$

де $K_1=0,3$ та $K_2=0,7$ – вагові коефіцієнти, визначені експериментально; $[\varepsilon_D]$ – задане значення порозності шару в зоні ГРП; ε_D – дійсне значення порозності шару; δ – експериментально визначене поточне значення довжини малорухомої області шару на пластині ГРП; $[\delta]$ – максимально допустиме значення довжини малорухомої області; l – загальна довжина пластини ГРП.

При виконанні умови $L_D \leq [L_D] = 0,1$ якість гідродинаміки прийнято вважати задовільною, рисунок 4.7.

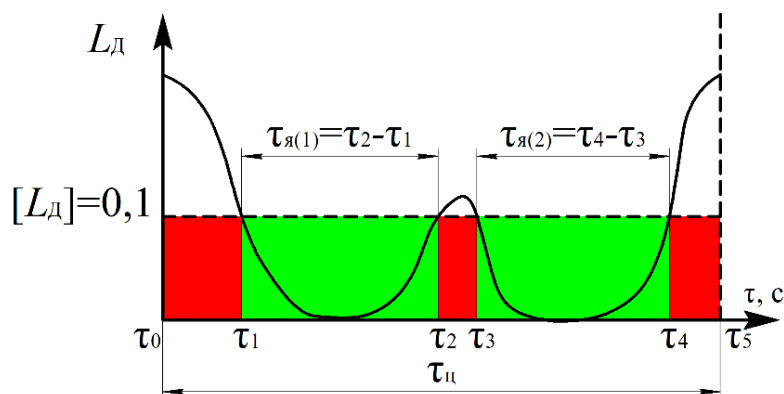


Рисунок 4.7 – Схема до визначення індексу динамічної якості гідродинаміки [18]

Враховуючи циклічний характер неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі оцінку якості запропоновано проводити за індексом динамічної якості:

$$i_{\text{я}} = \frac{\tau_{\text{я}}}{\tau_{\text{ц}}},$$

де $\tau_{\text{я}}$ – час протягом якого функція втрат якості $L_D \leq 0,1$, с; $\tau_{\text{ц}}$ – час одного циклу, с.

Якісним вважається такий гідродинамічний режим коли коефіцієнт втрат якості $L_D \leq 0,1$, а в ідеалі $L_D \rightarrow 0$.

Висновок

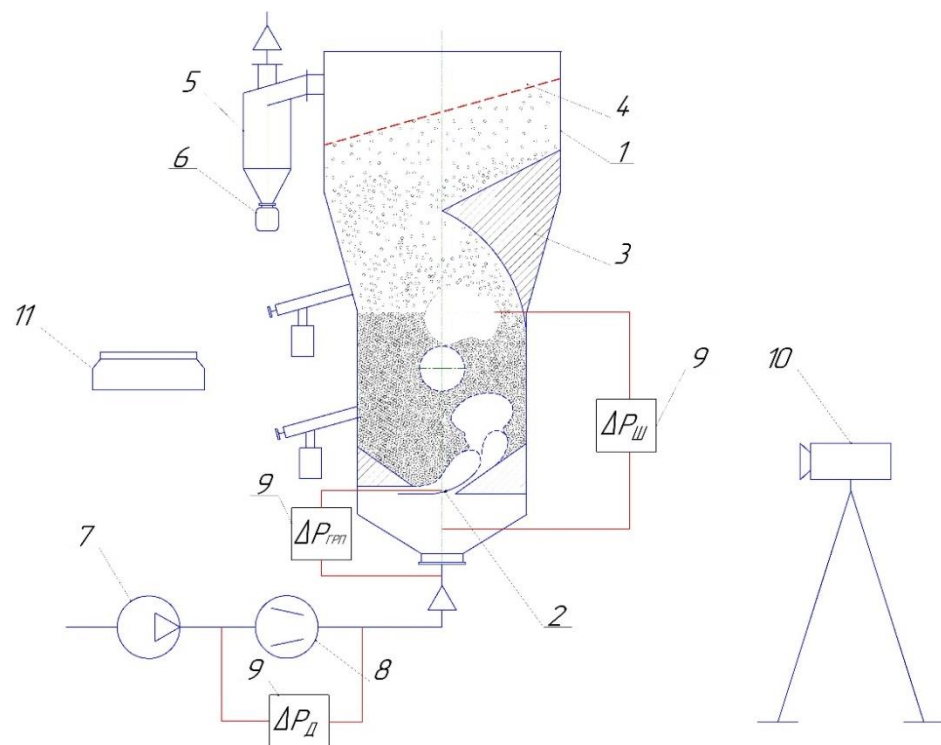
Таким чином, необхідно експериментально перевірити положення фізичної моделі неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження при збільшенні початкової висоти шару зернистого матеріалу та визначити параметри, при яких забезпечується якісний гідродинамічний режим псевдозрідження для розрахунку промислового гранулятора.

4.1.4 Дослідна установка

Для перевірки положень фізичної моделі неоднорідного струменево-пульсаційного при збільшенні початкової висоти шару зернистого матеріалу та

визначення параметрів, при яких забезпечується якісний гідродинамічний режим псевдозрідження використовувалася спеціально розроблена методика проведення експерименту [17].

Дослідження гідродинамічного режиму псевдозрідження проводилися на пілотній установці з розмірами камери гранулятора $A \times B \times H = 0,3 \times 0,11 \times 1,5$ м, рисунок 4.6, у нижній частині камери гранулятора встановлено газорозподільний пристрій щілинного типу 2 [21], який реалізує асиметричне-двохканальне введення теплоносія, тим самим забезпечує направлений рух зріджувального агенту та зернистого матеріалу з його активним перемішуванням. Коефіцієнт живого перерізу ГРП ϕ змінювався від 4 до 3,2%.



- 1 – гранулятор з псевдозрідженим шаром; 2 – газорозподільний пристрій (ГРП) щілинного типу; 3 – направляюча вставка; 4 – сітка-відбійник; 5 – циклон;
6 – ємність для збирання пилу; 7 – газодувка; 8 – камерна діафрагма;
9 – диференційні манометри; 10 – відеокамера; 11 – ваги.

Рисунок 4.6 – Схема дослідної установки

Камера апарата 1, з метою зменшення швидкості виходу відпрацьованого теплоносія у верхній частині виконана з розширенням з обох боків. Для

забезпечення очищення відпрацьованого зріджувального агенту від часток пилу її приєднують до циклону 5.

Вузол для вивантаження гранульованого продукту з апарату розташований у нижній частині. Для забезпечення об'ємного перемішування матеріалу в надшаровому просторі в камері гранулятора 1 встановлена направляюча вставка 3.

Витрати теплоносія вимірювались камерною діафрагмою 8 із точністю $\pm 0,005$ м³/год. Перепад тиску в шарі вимірювався візуально із застосуванням відеозапису з точністю $\pm 0,1$ Па. Для проведення відео та фото аналізу передня стінка камери гранулятора виконана прозорою.

У якості зернистого матеріалу застосовувався гранульований сульфат амонію з домішками гуматів з $d_e=2,07$ мм, густиною $\rho_T=1450$ кг/м³. Маса шару гранул завантажених у апарат змінювалася від 11,32 до 17,46 кг, що визначало висоту шару H_0 і номінальний гідростатичний тиск $\Delta P_{\text{ном.}}$ при порозності $\varepsilon_0=0,4$, висота введення першого струменя – $\Delta=40$ мм

4.1.6 Результати і обговорення

4.1.6.1 Визначення впливу коефіцієнту живого перетину ϕ на енергію газового струменя

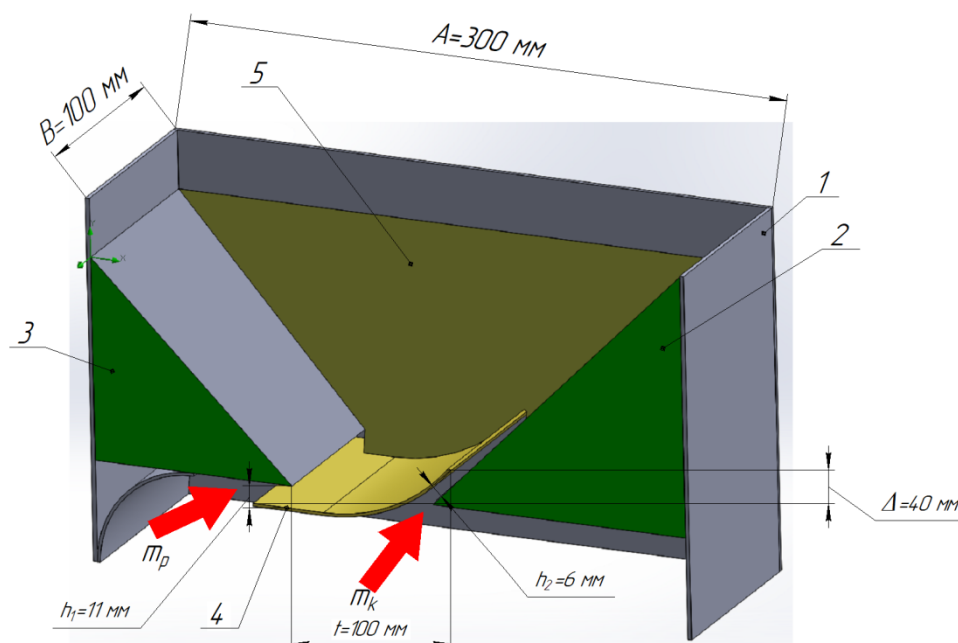
Відповідно до [22] підвищення початкової висоти шару зернистого матеріалу призводить до зменшення частоти пульсацій, та як наслідок зниження індексу динамічної якості гідродинаміки. Для забезпечення якісного режиму необхідно збільшити швидкість зріджувального агенту в щілинах ГРП, що досягається за рахунок зменшення коефіцієнту живого перетину ϕ .

Для визначення впливу коефіцієнту живого перетину ГРП ϕ на швидкість зріджувального агенту в щілинах в програмному середовищі *SolidWorks* було змодельовано конструкцію ГРП дослідної установки, рисунок 4.7. З метою збільшення енергії газового струменя проведено зменшення коефіцієнта живого

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

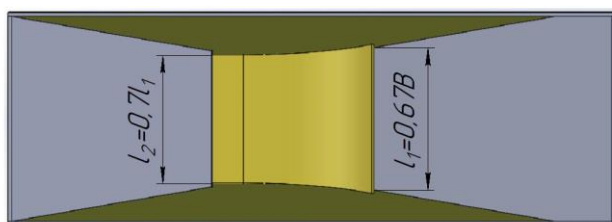
перерізу ГРП за рахунок встановлення звужуючих вставок при зменшенні довжини щілин l_1 та l_2 зі збереженням встановленого авторами [18-19] співвідношення між ними: $l_2=0,7l_1$, так щоб коефіцієнт живого перетину становив $\varphi=4\%$ та $\varphi=3,2\%$, рисунок 4.8 а, б.

Результатом моделювання є епюри швидкостей на робочих ділянках ГРП, рисунок 4.10 а, б, які свідчать про те, що за рахунок встановлення звужуючих вставок, було досягнуто локального підвищення швидкості на 22,3%, рисунок 4.9 б, порівняно ГРП з $\varphi=4\%$, рисунок 4.9 а.

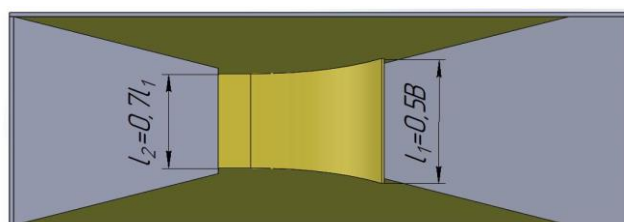


1 – камера гранулятора; 2 – правий колосник; 3 – лівий колосник;
4 – пластина; 5 – звужуюча вставка.

Рисунок 4.7 – Конструкція ГРП щілинного типу



а) $\varphi=4\%$



б) $\varphi=3,2\%$

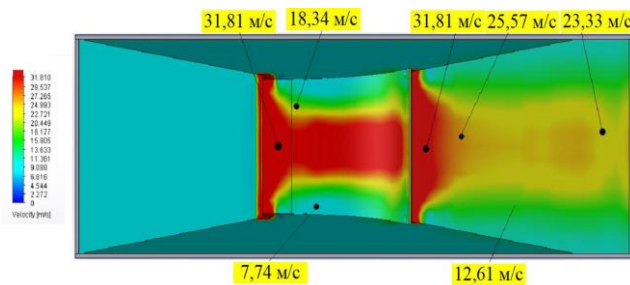
Рисунок 4.8 – Конструкція ГРП із заданим коефіцієнтом живого перетину φ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

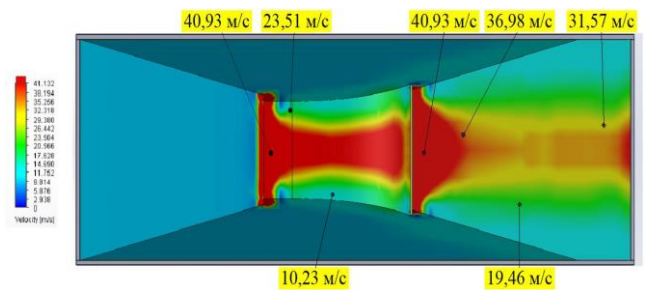
ЛН81мп.066615.001 ПЗ

Арк.

55



а) $\varphi=4,0\%$



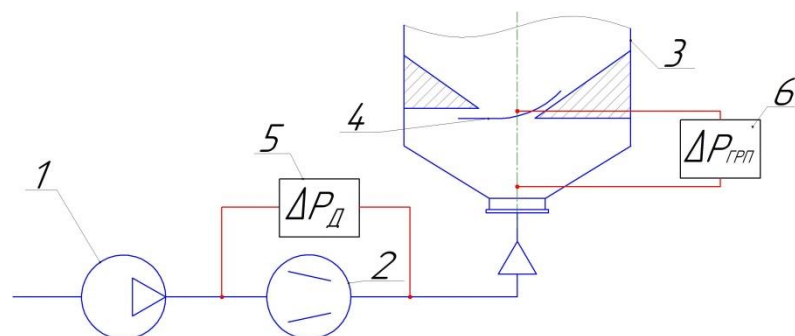
б) $\varphi=3,2\%$

Рисунок 4.9 - Епюра швидкостей зріджувального агента в зоні ГРП
при $V=0,04138$ м/с, $T=20$ °C

Наявність локального збільшення швидкості газу на виході з щілини ГРП з $\varphi=3,2\%$ дозволило збільшити кінетичну енергію струменя, що відповідає вимогам до ГРП за положеннями фізичної моделі неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження.

4.1.6.2 Визначення коефіцієнту гідравлічного опору ГРП та дійсної швидкості зріджувального агента в щілинах ГРП

Схема установки до визначення гідравлічного опору ГРП наведена на рисунку 4.10.



1 – ВВЦН; 2 – камерна діафрагма; 3 – камера гранулятора;
4 – ГРП; 5,6 – водяні манометри.

Рисунок 4.10 – Загальний вигляд дослідного стенду для визначення гідравлічного опору ГРП

Коефіцієнт гідравлічного опору ГРП розраховується за виразом:

$$\Delta P_{\text{ГРП}} = \xi \frac{w_{\text{щ}}^2 \rho_{\text{Г}}}{2}.$$

Приймаємо:

$$A_{\text{ГРП}} = \frac{w_{\text{щ}}^2 \rho_{\text{Г}}}{2}.$$

Тоді гідравлічний опір ГРП приймає вигляд:

$$\Delta P_{\text{ГРП}} = \xi A_{\text{ГРП}}.$$

Швидкість газу в щілинах визначається за виразом:

$$w_{\text{щ}} = \frac{V_{\text{сек}}}{\varphi} 100\%,$$

де φ – коефіцієнт живого перерізу ГРП, %:

Об'ємні секундні витрати повітря при даній температурі вимірюються камерною діафрагмою та обчислюється за виразом, м³/с [18]:

$$V_{\text{сек}} = 4,927 \cdot 10^5 \sqrt{\Delta P_{\text{Д}} (273 + t_{\text{сер}})},$$

де $t_{\text{сер}}$ – температура оточуючого середовища (лабораторії), °С.

Коефіцієнт гідравлічного опору визначається за виразом:

$$\xi = \frac{\Delta P_{\text{ГРП}}}{A_{\text{ГРП}}} = \text{tg} \alpha.$$

Витрати повітря, яке подавалося газодувкою 1, вимірювалися на камерній діафрагмі 2, за допомогою водяного диференційного манометра 5. Температура повітря вимірювалася термopарою, безпосередньо перед входом в ГРП, та становила 18 °С. Гідравлічний опір ГРП вимірювався за допомогою диференційного манометра 6.

За результатами проведених досліджень одержано залежність гідравлічного опору ГРП від комплексу A , рисунку 4.11, та визначено характеристичне рівняння, що описує коефіцієнт гідравлічного опору в залежності від коефіцієнта живого перерізу ГРП в межах $\varphi=3,2\% \div 4,9\%$:

$$\xi = 3,5068 - 0,3463 \cdot \varphi.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

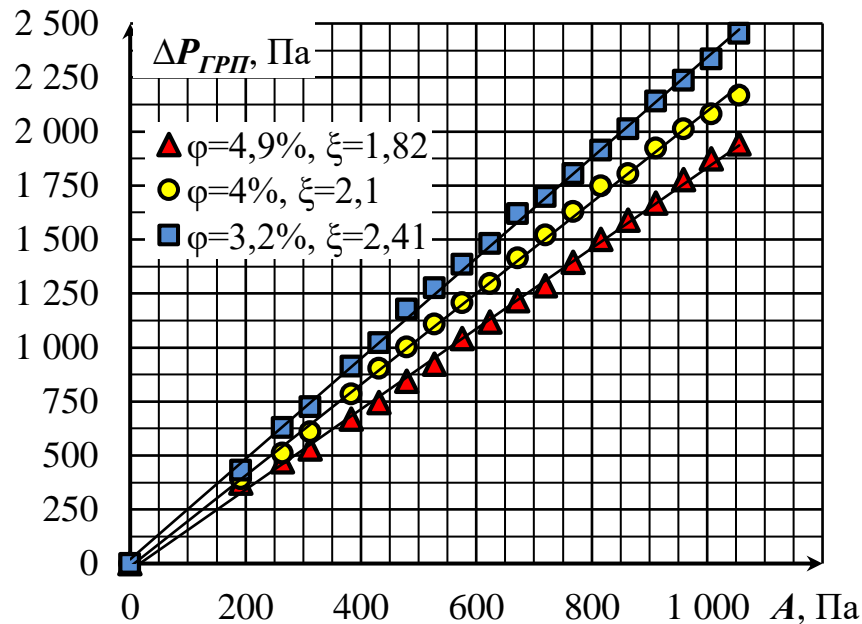


Рисунок 4.11 – Визначення коефіцієнту гідравлічного опору ГРП

Зменшення коефіцієнта живого перерізу зі значення $\varphi=4,9\%$ до $\varphi=4\%$ призвело до збільшення коефіцієнту гідравлічного опору на 15% з $\xi=1,82$ до $\xi=2,1$. Подальше зменшення з $\varphi=4,0\%$ до $\varphi=3,2\%$ призвело до підвищення гідравлічного опору на 14,8%, з $\xi=2,1$ до $\xi=2,41$. Гідравлічний опір решітки на максимальній об'ємній витраті зріджуючого агенту $Q=\text{const}$ при зменшенні $\varphi=4,9\%$ до $\varphi=3,2\%$, зріс з 1942 до 2452 Па.

Визначення впливу конструктивних особливостей ГРП на швидкість газового теплоносія в щілинах, наведена на рисунку 4.12.

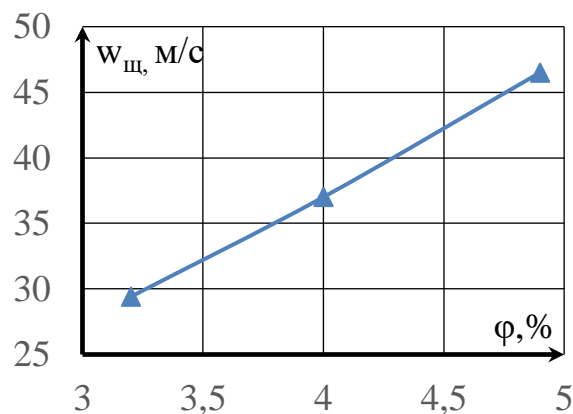


Рисунок 4.12 – Вплив конструкції ГРП на швидкість зріджувального агенту в щілинах

При зменшенні коефіцієнту живого перерізу ГРП до $\varphi=4\%$, швидкість газу в щілинах збільшилася з 29,3 до 37 м/с, тобто на 26,3%. При подальшому зменшенні, до $\varphi=3,2\%$, швидкість газу в щілинах збільшилася з 37 до 46,5 м/с, тобто на 25,7%, що призводить до збільшення кінетичної енергії струменя.

4.1.6.3 Параметри гідродинаміки струменево-пульсаційного псевдозрідження при висоті нерухомого шару $H_{0(1)}=0,42$ м

Метою експериментальних досліджень було визначення впливу живого перерізу ГРП на неоднорідне псевдозрідження та умов його переходу в якісний автоколивальний режим.

Досліди проводилися на експериментальній установці описаній в розділі 4, пункті 1, підпункті 4.

За результатами досліджень одержано криву псевдозрідження для висоти шару матеріалу $H_{0(1)}=0,42$ м при коефіцієнті живого перетину ГРП $\varphi=4\%$ з масою шару $M_{\text{ш}}=11,32$ кг, рисунок 4.14. При цьому номінальний гідростатичний тиск в шарі:

$$\Delta P_{\text{гiдр.}(0,42)} = H_0(1-\varepsilon_0)\rho_{\text{т}}gK_a = 3262 \text{ Па},$$

де $K_a=0,91$ – коефіцієнт, що враховує конфігурацію камери гранулятора.

Відношення висоти пробою газового факелу до початкової висоти шару зернистого матеріалу $z_{\text{ф}}/H_0=0,1/0,42=0,24$.

Експериментально одержану криву псевдозрідження, рисунок 4.13, можна умовно розділити на чотири зони.

В зоні 1, при значення числа псевдозрідження $0 \leq K_w < 0,54$, рух газу в апараті відбувається у фільтраційному режимі.

В зоні 2, $0,54 \leq K_w < 1$ відбувається пробій газових факелів, які виходять з двох щілин, та об'єднуються в один з висхідним рухом, в результаті чого в апараті реалізується пульсаційний режим.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

В зоні 3 число псевдозрідження знаходиться в межах $1 \leq K_w < 1,71$, система перебуває в барботажному режимі, який характеризується недостатнім індексом об'ємного перемішування та утворенням застійних зон на поверхні ГРП.

В зоні 4, при $K_w \geq 1,71$ та швидкості газу в щілинах 31,4 м/с в апараті реалізується якісний автоколивальний струменево-пульсаційний режим псевдозрідження, який запобігає утворенню застійних зон на поверхні ГРП.

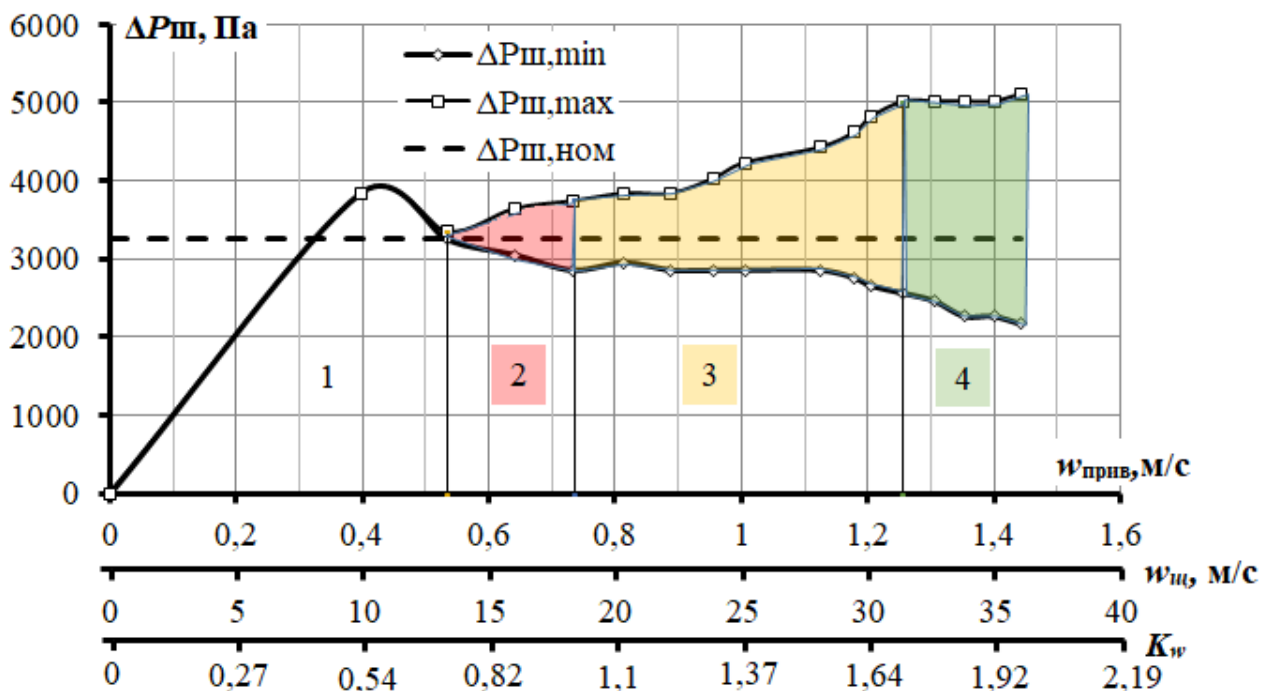


Рисунок 4.13 – Крива псевдозрідження для $H_{0(1)}=0,42$ м при $\varphi=4\%$ ($w_{кр}=0,735$ м/с)

Фотофіксацію циклу неоднорідного автоколивального струменево-пульсаційного псевдозрідження в камері гранулятора для частинок із $d_e=2,07$ мм при $H_{0(1)}=0,42$ м, $K_w=1,71$ та $w_{щ}=31,4$ м/с наведено на рисунку 4.14.

На початку стадії 1 при $\tau = 0,00$ с, рисунок 4.14 а, шар зернистого матеріалу знаходиться в умовному стані рівноваги.

Порозність шару у виділеному об'ємі $H_0 \times B \times A$ мінімальна. У результаті об'єднання масових витрат газу двох струменів, на вершині вертикального факела другого струменя $z_{ф(2)}$ починає формуватися газова бульбашка циліндричної (бочкоподібної) форми, рисунок 4.14 а.

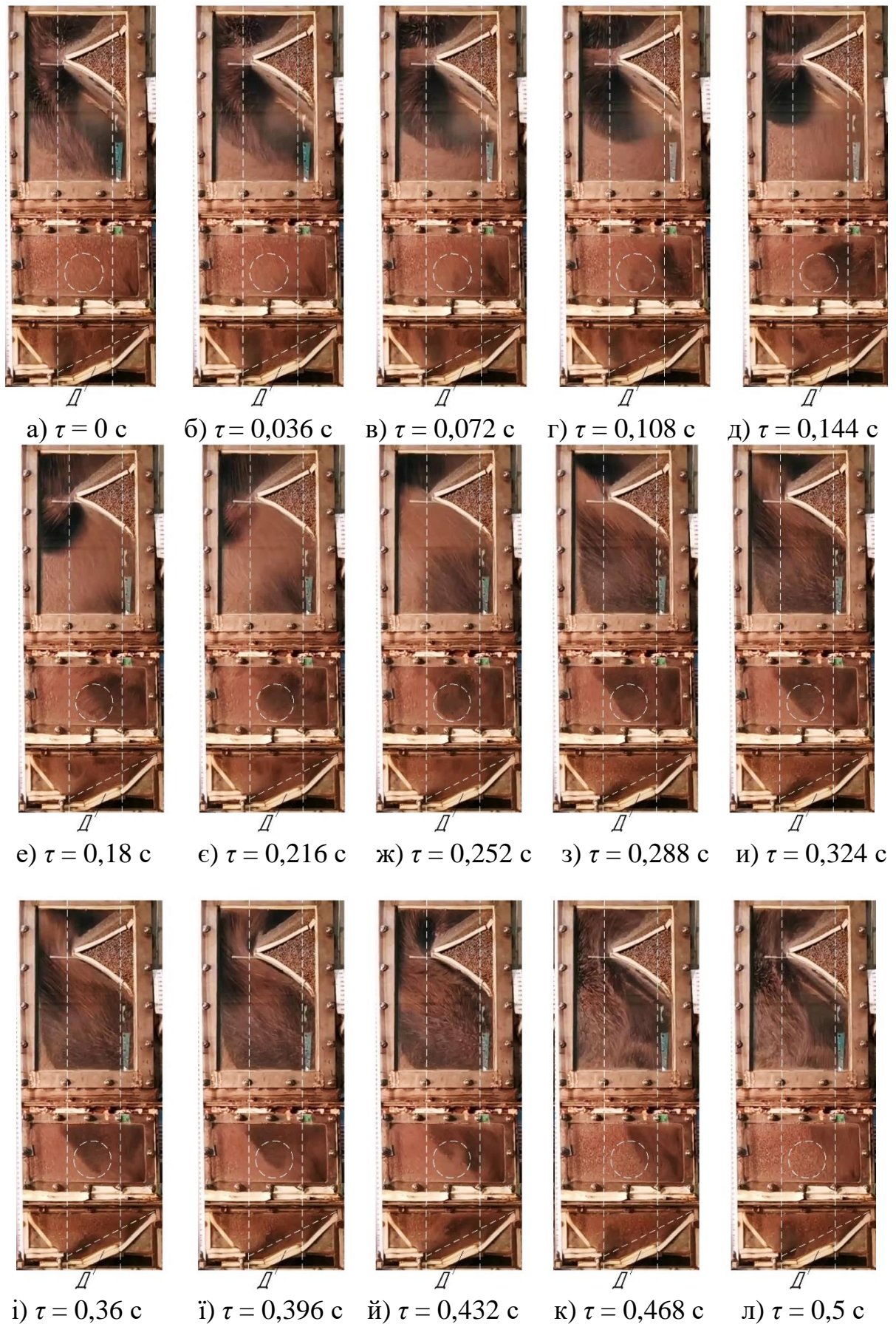


Рисунок 4.14 – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора при $H_{0(1)}=0,42$ м; $K_w=1,71$; $w_{ш}=31,4$ м/с; $f=2$ Гц; $\tau_{ц}=1/f=0,5$ с

Так, як швидкість підведення зріджувального агенту в зону *III* значно перевищує швидкість фільтрації газу в шарі зернистого матеріалу, то розміри газового циліндру (бульбашки) починають збільшуватися в діаметрі ($d_{\delta i}$), а її ширина обмежується шириною камери апарата – B , рисунок 4.14 а-д.

У *II* і *III* зонах при досягненні критичного розміру, газова бульбашка починає прискорено рухатись до поверхні псевдозрідженого шару і при виході з нього спричинює інерційне винесення матеріалу в надшаровий простір, рисунок 4.14 д-и. При цьому, в кормовій частині бульбашки відбувається зниження тиску, що зумовлює трьох-мірний рух зернистого матеріалу в цю зону, тобто створюється циркуляційний контур в зоні зрошення та в зоні інтенсивного тепломасообміну.

Винесений із шару матеріал, за допомогою спеціального направляючого пристрою у надшаровому просторі апарата переміщається до зони *I*, що спричиняє збільшення висоти шару в цій зоні, рисунок 4.14 и. Після цього завершується стадія 2 і починається стадія 3, на якій відбувається інтенсивне зсипання матеріалу із максимальної висоти шару в зоні *I* до зон *II* та *III*, рисунок 4.14 и-л, до досягнення початкового умовно рівноважного стану, рисунок 4.14 л. У процесі зворотного руху зернистого матеріалу при заповненні пустот, утворених у зонах *II* та *III* відбувається протитечійний контакт зернистого матеріалу з теплоносієм, що значно підвищує рушійну силу масообміну. Окрім того, у зоні *I* рух газового теплоносія відбувається виключно у фільтраційному режимі.

Такий цикл повторюється багатократно і призводить до автоколивального режиму псевдозрідження, що підтверджує положення фізичної моделі.

Неоднорідність псевдозрідження підтверджується динамікою зміни порозності шару, рисунок 4.15, по зонах камери гранулятора у фіксованому об'ємі $H_0 \times A \times B$ одержаної за результатами аналізу фотофіксацій, наведених на рисунку 4.14.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

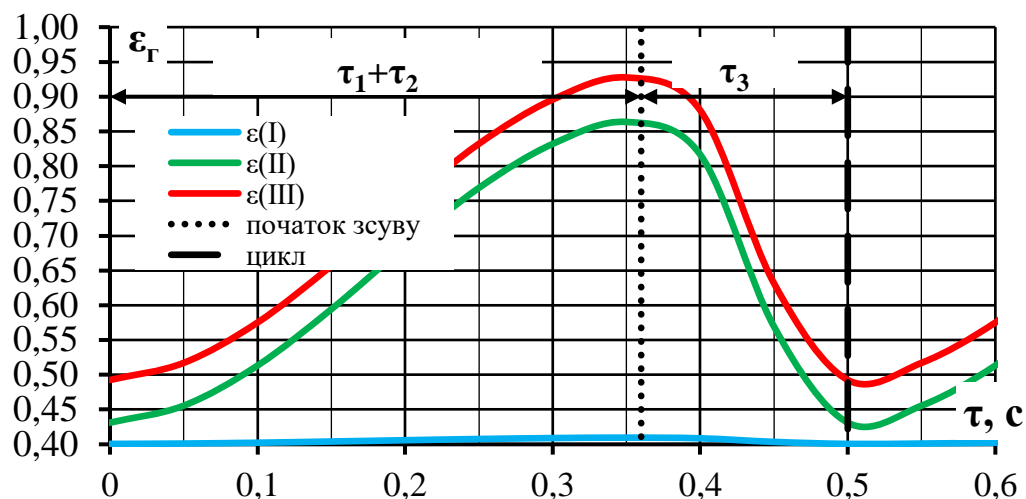
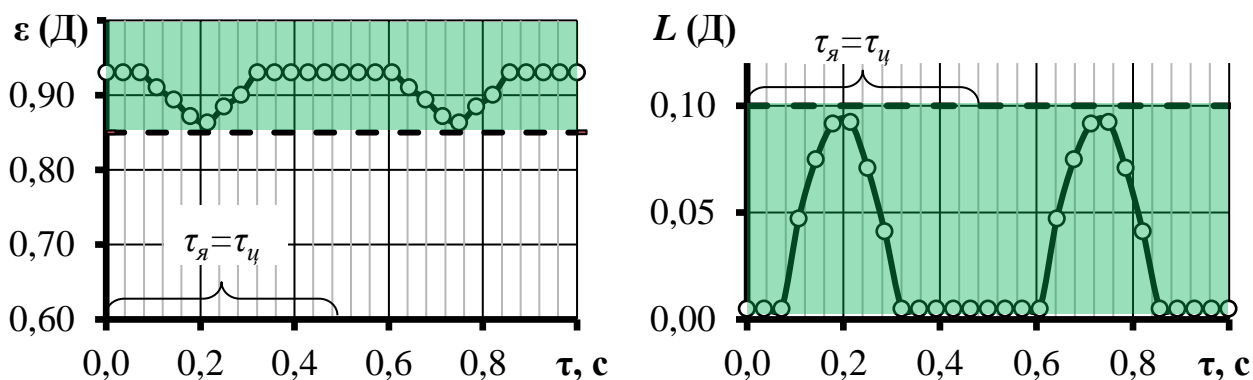


Рисунок 4.15 – Динаміка зміни порозності шару в фіксованому об’ємі камери гранулятора, отримана дослідним шляхом при $d_e = 2,07$ мм, $H_{0(1)} = 0,42$ м; $K_w = 1,71$

Динаміка зміни порозності шару в зоні Д, отримана за результатами досліджень при $d_e = 2,07$ мм при $K_w = 1,71$ для обраного інтервалу часу підтверджує, що значення знаходиться в області вище мінімально допустимого $[\varepsilon_D] = 0,85$, рисунок 4.16 а. Динаміка зміни функції втрат якості за модифікованим методом Тагуті [18] свідчить про збереження якісного режиму гідродинаміки протягом всього циклу пульсації, рисунок 4.16 б.



а) зміна порозності в зоні Д

б) Динаміка зміни функцій втрат якості

Рисунок 4.16 – Якість гідродинаміки в зоні Д при $H_{0(1)} = 0,42$ м; $\varphi = 4\%$;

$$f = 2 \text{ Гц}; \tau_{ц} = 1/f = 0,5 \text{ с}$$

Тобто, при приведеному значенні $K_w = 1,71$, швидкостях в щілинах $w_{щ} = 31,4$ м/с та відношенню висоти пробою газового факелу до початкової висоти шару зернистого матеріалу $z_{\varphi}/H_0 = 0,24$ функція втрат якості $L_D \leq 0,1$ протягом циклу і тому індекс якості $i_{я} = \tau_{я}/\tau_{ц} \rightarrow 1$.

4.1.6.4 Параметри гідродинаміки струменево-пульсаційного псевдозрідження при висоті нерухомого шару $H_{0(2)}=0,52$ м

Підвищення початкової висоти шару на 23% до $H_{0(2)}=0,52$ мм призводить до зниження індексу динамічної якості гідродинаміки, оскільки при $z_{\phi}/H_0=0,1/0,52=0,19$ недостатньо енергії горизонтального газового струменя біля поверхні ГРП.

Для забезпечення $i_{\gamma} \rightarrow 1$ при підвищенні початкової висоти шару на 23% в апараті було встановлено ГРП щілинного типу з коефіцієнтом живого перерізу $\phi=3,2\%$, тоді $z_{\phi}/H_0=0,12/0,52=0,23$.

За результатами досліджень гідродинаміки псевдозрідженого шару з початковою висотою $H_{0(2)}=0,52$ м в камері гранулятора при застосуванні ГРП щілинного типу із $\phi=3,2\%$ одержано криву псевдозрідження, рисунок 4.16, яку, як і для попереднього випадку, рисунок 4,13, також можна розділити на 4 зони.

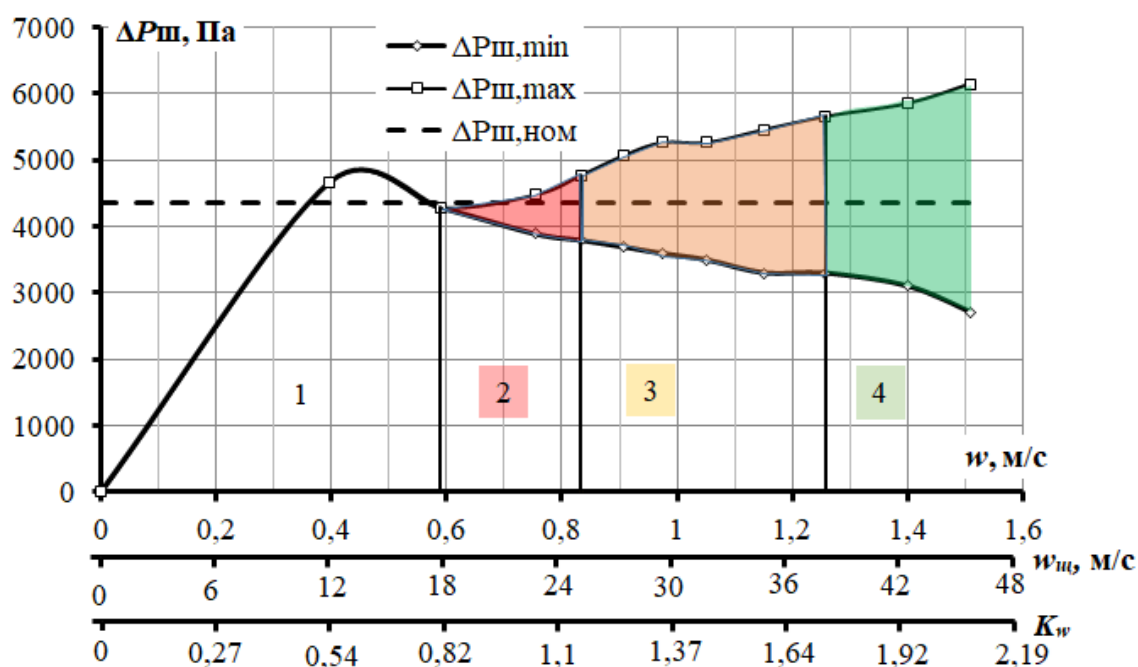


Рисунок 4.16 – Крива псевдозрідження для $H_{0(2)}=0,52$ м при $\phi=3,2\%$ ($w_{кр}=0,735$ м/с)

Фотофіксацію циклу неоднорідного автоколивального струменево-пульсаційного псевдозрідження в камері гранулятора для частинок із $d_e=2,07$ мм при $H_{0(2)}=0,52$ м, $K_w=1,71$ та $w_{ш}=38,73$ м/с наведено на рисунку 4.17.



Д

а) $\tau=0$ с



Д

б) $\tau=0,036$ с



Д

в) $\tau=0,072$ с



Д

г) $\tau=0,108$ с



Д

д) $\tau=0,144$ с



Д

е) $\tau=0,180$ с



Д

е) $\tau=0,216$ с



Д

ж) $\tau=0,252$ с



Д

з) $\tau=0,288$ с



Д

и) $\tau=0,324$ с



Д

і) $\tau=0,360$ с



Д

ї) $\tau=0,396$ с

Рисунок 4.17(продовження) – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора при $H_{0(2)}=0,52$ м; $K_w=1,71$; $w_{ш}=38,73$ м/с; $f=2,5$ Гц; $\tau_{ц}=1/f=0,396$ с

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН81мп.066615.001 ПЗ

Арк.

65

Наведені фотофіксації підтверджують наявність автоколивального режиму псевдозрідження, а динаміка зміни порозності шару, рисунок 4.18, по зонах камери гранулятора у фіксованому об'ємі $H_0 \times A \times B$, одержана за результатами аналізу фотофіксацій, наведених на рисунку 4.17, підтверджує неоднорідність псевдозрідження.

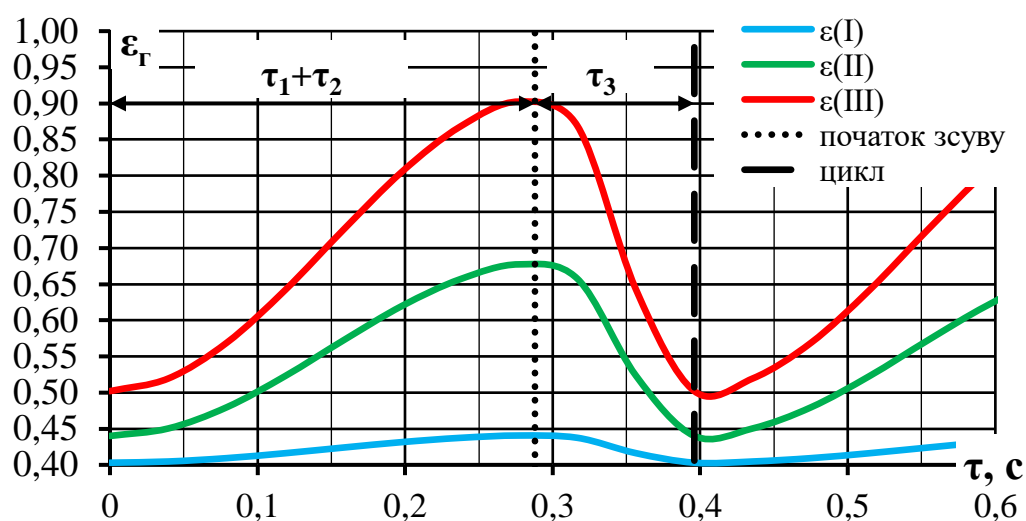
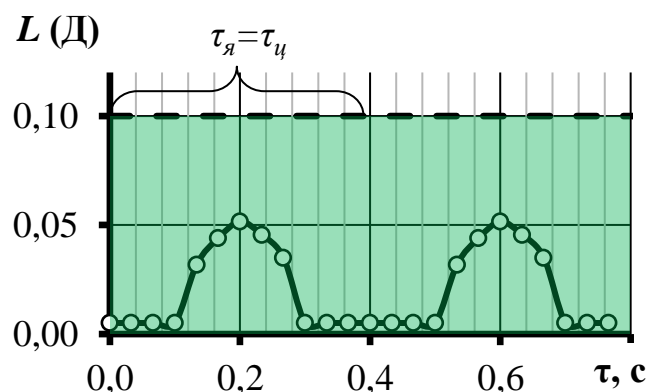
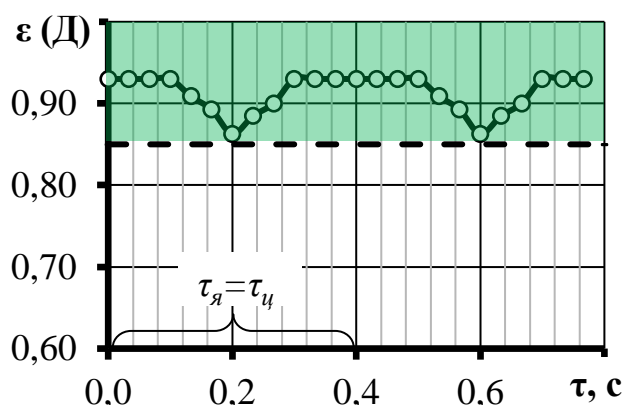


Рисунок 4.18 – Динаміка зміни порозності шару в фіксованому об'ємі камери гранулятора, отримана дослідним шляхом при $d_e = 2,07$ мм, $H_{0(2)} = 0,52$ м; $K_w = 1,71$

При цьому динаміка зміни порозності шару в зоні Д, рисунок 4.19 а, та динаміка зміни функції втрат якості, рисунок 4.19 б, свідчать про забезпечення якісного режиму гідродинаміки протягом всього циклу пульсації – $i_{я} = 1.0$.



а) динаміка зміни порозності в зоні Д

б) динаміка зміни функції втрат якості

Рисунок 4.19 – Якість гідродинаміки в зоні Д при $H_{0(2)} = 0,52$ м; $\varphi = 3,2\%$;
 $f = 2,5$ Гц; $\tau_{ц} = 1/f = 0,4$ с

Таким чином, зменшення коефіцієнта живого перерізу ГРП до $\phi=3,2\%$ при підвищенні висоти нерухомого шару на 23% забезпечує збільшення енергії горизонтального газового струменя та, відповідно, реалізацію якісного неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження з індексом динамічної якості $i_a=1,0$.

4.1.6.5 Параметри гідродинаміки струменево-пульсаційного псевдозрідження при висоті нерухомого шару $H_{0(2)}=0,6$ м

За результатами досліджень гідродинаміки струменево-пульсаційного псевдозрідження при подальшому збільшенні висоти нерухомого шару на 15% до $H_{0(3)}=0,6$ м у камері гранулятора при застосуванні ГРП щільного типу із $\phi=3,2\%$ одержано криву псевдозрідження, рисунок 4.20. При цьому маса шару становила $M_{ш(3)}=17,46$ кг, що відповідає гідростатичному тиску шару $\Delta P_{гидр.(0,6)}=H_{0(3)}(1-\varepsilon_0)\rho_T g K_a=5326$ Па, де $K_a=1,04$.

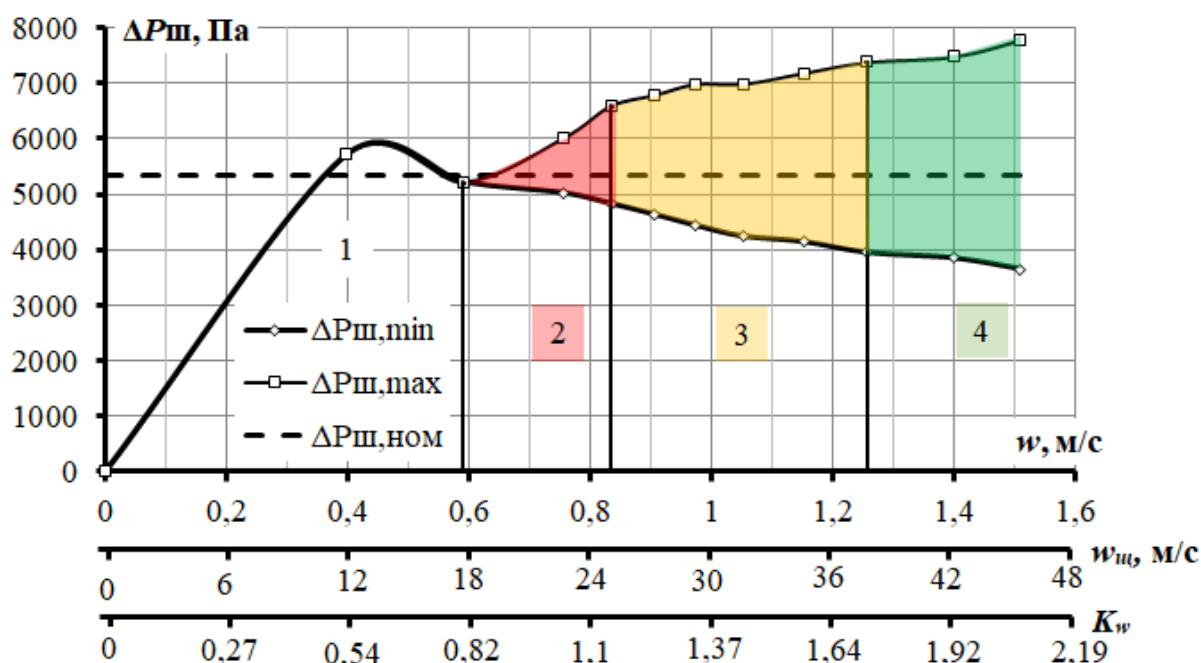


Рисунок 4.20 – Крива псевдозрідження для $H_{0(3)}=0,6$ м ($w_{кр}=0,735$ м/с; $\phi=3,2\%$)

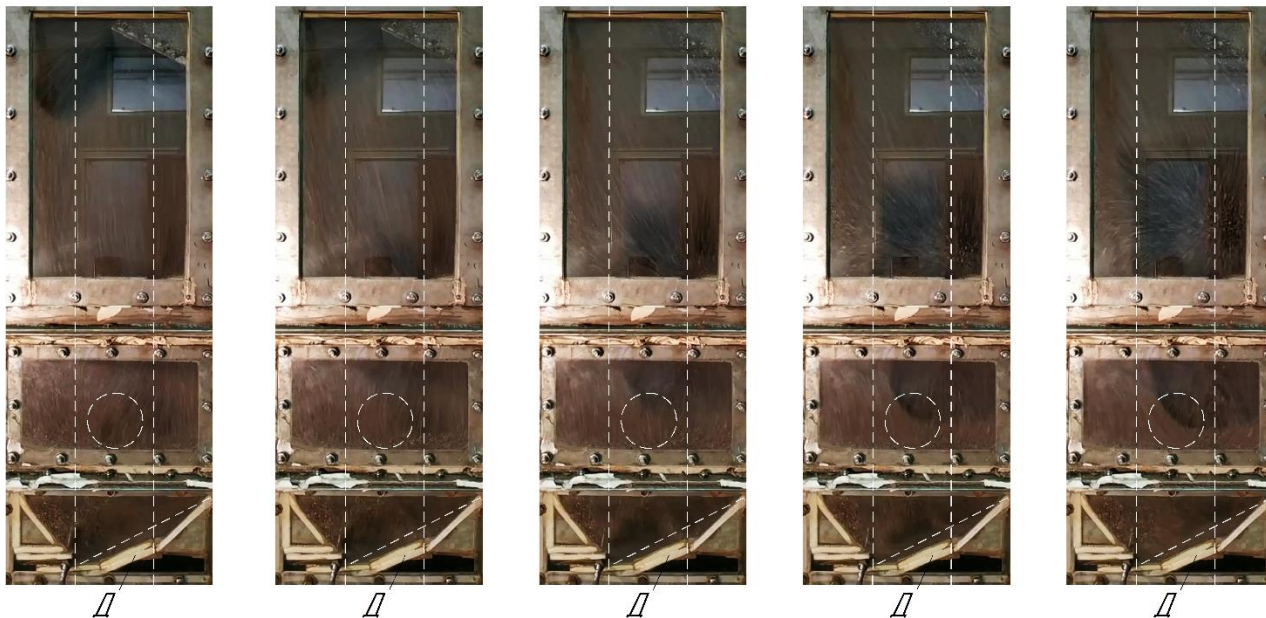
Фотофіксації гідродинамічного циклу неоднорідного автоколивального струменево-пульсаційного псевдозрідження в камері гранулятора для частинок із

$d_e=2,07$ мм при $H_{0(3)}=0,6$ м, $K_w=1,71$ та $w_{ш}=38,73$ м/с, наведені на рисунку 4.21, підтверджують реалізацію струменево-пульсаційного режиму псевдозрідження. Фотофіксації гідродинаміки при збільшенні висоти шару до $H_{0(3)}=2A$ повністю підтверджують виконання положень фізичної моделі, відповідно до рисунку 4.4.



Рисунок 4.21 – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора при $H_{0(3)}=0,6$ м; $K_w=1,71$; $w_{ш}=38,73$ м/с ($f=2$ Гц; $\tau_{ц}=1/f=0,5$ с)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



i) $\tau = 0,360 \text{ c}$ ii) $\tau = 0,396 \text{ c}$ iii) $\tau = 0,432 \text{ c}$ iv) $\tau = 0,468 \text{ c}$ v) $\tau = 0,500 \text{ c}$

Рисунок 4.21 (продовження) – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора при $H_{0(3)}=0,6 \text{ м}$; $K_w=1,71$; $w_{ш}=38,73 \text{ м/с}$ ($f=2 \text{ Гц}$; $\tau_{ц}=1/f=0,5 \text{ c}$)

При цьому рух утвореної газової бульбашки до поверхні шару супроводжується утворенням наступної, яка вибухає всередину попередньої з утворенням одної масивної продовгуватої по вертикалі із забезпеченням трьох чітко виражених циркуляційних контурів з інтенсивним об'ємним перемішуванням: 1 – у зоні інтенсивного тепломасообміну; 2 – у зоні зрошення; 3 – у зоні переміщення шару зернистого матеріалу.

Оскільки діаметр газової бульбашки при цьому становить $2/3$ від довжини камери гранулятора A , тобто займає практично однаковий об'єм II та III зон – динаміка зміни порозності шару в цих зонах майже однакова, рисунок 4.22. Із врахуванням того, що утворена газова бульбашка також частково проходить через зону I – порозність у цій зоні теж збільшується.

При цьому динаміка зміни порозності шару в зоні D , рисунок 4.22 а, та динаміка зміни функції втрат якості, рисунок 4.22 б, свідчать про забезпечення якісного режиму гідродинаміки протягом всього циклу пульсації з забезпеченням індексу динамічної якості гідродинаміки $i_{я}=1.0$.

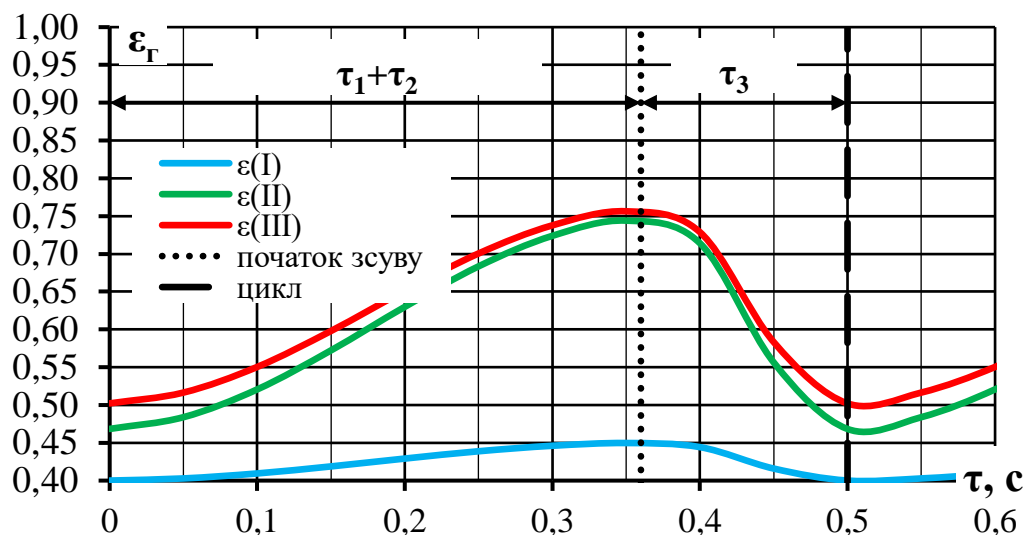
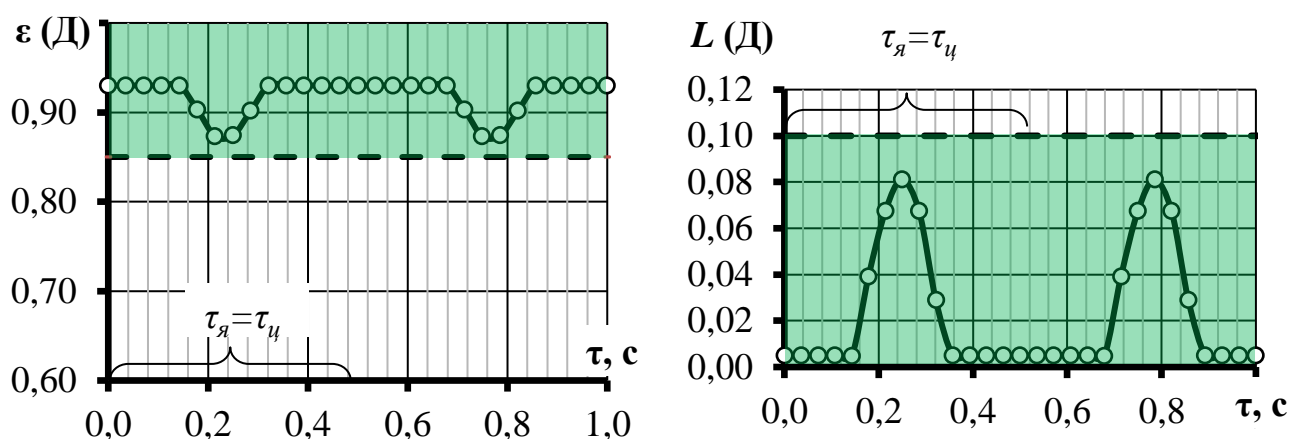


Рисунок 4.22 – Динаміка зміни порозності шару в фіксованому об’ємі камери гранулятора, отримана дослідним шляхом при $d_e = 2,07$ мм, $H_{0(2)} = 0,6$ м; $K_w = 1,71$



а) динаміка зміни порозності в зоні Д б) динаміка зміни функції втрат якості

Рисунок 4.23 – Якість гідродинаміки в зоні Д при $H_{0(3)} = 0,6$ м; $\varphi = 3,2\%$;
 $f = 2,5$ Гц; $\tau_{ц} = 1/f = 0,5$ с)

За результатами проведених досліджень встановлено, що для реалізації положень фізичної моделі неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження при збільшенні початкової висоти шару зернистого матеріалу до $H_{0(3)} = 2A = 0,6$ м необхідно зменшити коефіцієнт живого перерізу ГРП до $\varphi = 3,2\%$. Це дозволяє підвищити швидкість газу в щілинах ГРП зі збільшенням кінетичної енергії газового струменя та забезпечує реалізацію якісного гідродинамічного режиму псевдозрідження без утворення застійних зон на робочих поверхнях ГРП

та наявність трьох циркуляційних контурів з об'ємним перемішуванням частинок по всій висоті шару.

4.1.6.6 Розрахунок діаметру газової бульбашки при неоднорідному струменево-пульсаційному псевдозрідженні

За результатами аналізу фото-відео фіксацій стану шару зернистого матеріалу, одержаних при проведенні досліджень гідродинаміки неоднорідного псевдозрідження, визначено висоту пробою газового факела, рисунок 4.24, у залежності від зміни коефіцієнта живого перерізу ГРП.

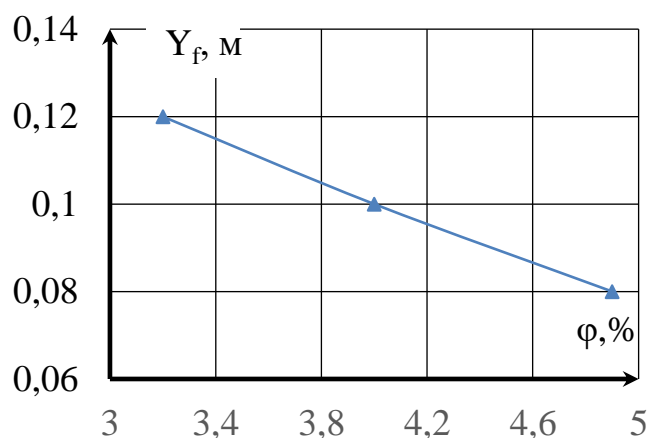


Рисунок 4.24 – Залежність висоти пробою газового струменю від коефіцієнта живого перерізу ГРП

Враховуючи, що бульбашка, яка формується на вершині газового факела, має циліндричну форму, то рівновага сил, які діють на неї, визначається як:

$$\Delta P_{\text{підйому}} = \Delta P_{\text{гідростатичний}}$$

$$V_6 \rho_T (1 - \varepsilon_0) g = F_6 (H_0 - d_6 - z_\phi - \Delta) \rho_T (1 - \varepsilon_0) g$$

або:

$$V_6 = F_6 (H_0 - d_6 - z_\phi - \Delta),$$

де $V_6 = \pi d_6^3 / 6$ – об'єм бульбашки, м³; $F_6 = \pi d_6^2 / 4$ – площа перерізу бульбашки, м².

Газова бульбашка, що утворилася має циліндричну форму з віссю симетрії по горизонталі та шириною циліндра B , тобто:

$$V_6 = \frac{\pi d_6^2}{4} B; \quad F_6 = d_6 B,$$

де B – ширина камери гранулятора, м.

Звідси:

$$\frac{\pi d_6^2}{4} B = d_6 B (H_0 - d_6 - z_\phi - \Delta).$$

Тоді розрахунковий діаметр бульбашки, м:

$$d_{61} = \frac{H_0 - z_\phi - \Delta}{1 + \frac{\pi}{4}}$$

Графічну залежність діаметру бульбашку від висоти шару та коефіцієнту живого перерізу ГРП наведено на рисунку 4.25.

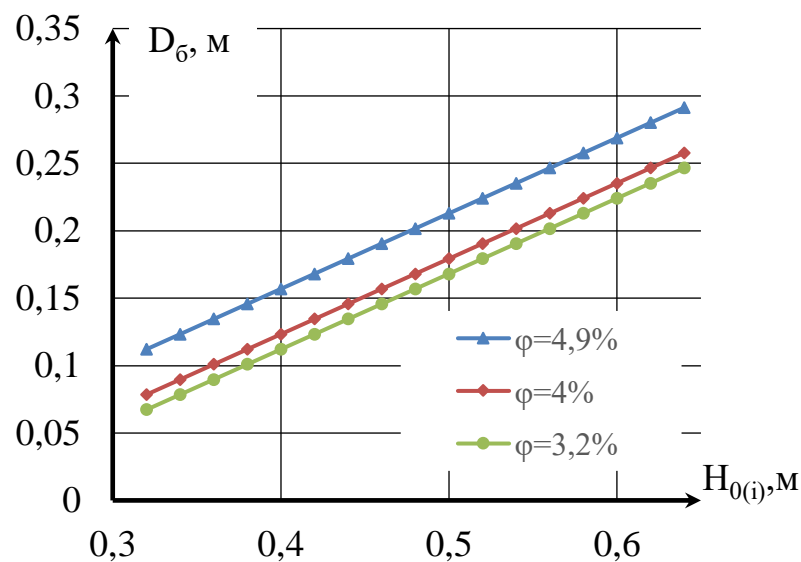


Рисунок 4.25 – Визначення впливу коефіцієнта живого перерізу ГРП ϕ на діаметр газової бульбашки D_6 при зміні висоти початкового шару H_0

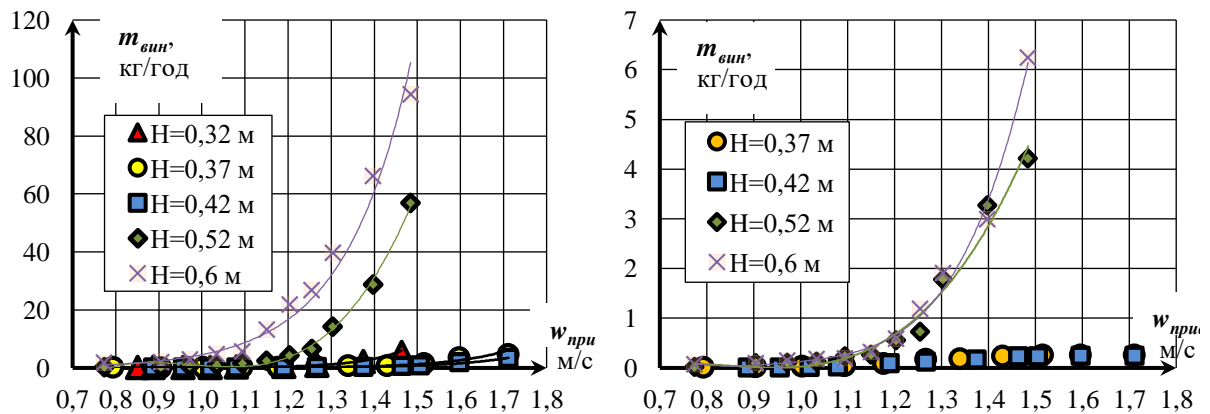
Збільшення швидкості в щілинах ГРП дозволило забезпечити якісний автоколивальний струменево-пульсаційний режим псевдозрідження. Зменшення коефіцієнту живого перерізу ГРП сприяло підвищенню висоти пробою газового струменя. однак зі збільшенням висоти шару зростає діаметр газової бульбашки що призводить до збільшення кількості інерційно винесеного матеріалу за межі

камери гранулятора (в циклон), що у подальшому матиме негативний вплив на стійкість кінетики процесу грануляції.

4.1.6.7 Інерційне винесення зернистого матеріалу

З метою усунення інерційного винесення зернистого матеріалу в камері гранулятора встановлено еластичний відбійник із розмірами комірок 2×2 мм. Дослідження проводилися для початкових висот шару 0,32 м, 0,37 м, 0,42 м, 0,52 м та 0,6 м.

На рисунку 4.26 наведено результати експериментальних досліджень наведено у вигляді залежності маси винесеного матеріалу $m_{вин}$ від приведеної швидкості газу в апараті $w_{прив}$ при зміні висоти початкового шару.



а) без еластичним відбійником

б) з еластичним відбійником

Рисунок 4.26 – Залежність маси винесеного матеріалу $m_{вин}$ від приведеної швидкості газу в апараті $w_{прив}$ при зміні висоти початкового шару

Результати експериментальних досліджень підтверджують доцільність встановлення еластичної сітки, оскільки це дозволило зменшити інерційне винесення матеріалу при значенні $w_{прив}=1,48$ м/с для максимальної досліджуваної висоти шару $H_0=0,6$ м, щонайменше, у 15 раз – з 94,28 кг/год (без еластичного відбійника) до 6,24 кг/год (з еластичним відбійником).

Таким чином, експериментально підтверджено, що реалізацію струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі без утворення

застійних зон на поверхні ГРП можливо проводити при збільшенні початкової висоти нерухомого шару H_0 на 42% шляхом зменшення коефіцієнту живого перерізу ГРП. При зменшенні ϕ підвищується висота пробою газового струменю, проте діаметр бульбашки зростає та спричиняє інерційне винесення зернистого матеріалу, яке можливо усунути шляхом встановлення еластичного відбійника.

4.1.7 Висновки

1. Обґрунтовано спосіб взаємодії газового агенту із гранульованим матеріалом в апараті із псевдозрідженим шаром, за якого реалізується струменево-пульсаційний автоколивальний режим із циклічним імпульсним перенесенням у надшаровий простір не менше 30% від маси шару із частотою 2,0...2,5 Гц за відношення висоти пробою газового струменя до висоти шару матеріалу $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2 \div 0,24$.

2. Встановлено залежність гідравлічного опору ГРП, від коефіцієнту живого перерізу ϕ , в межах $3,2\% \leq \phi \leq 4,9\%$, $\zeta = 3,506 - 0,3463 \cdot \phi$.

3. Експериментально визначено висоту пробою газового струменю, $Z_{\phi} = 0,8 \div 0,12$ м при відношенні висоти пробою газового струменя до висоти шару матеріалу $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2 \div 0,24$.

4. Експериментально визначено вплив конструктивних особливостей ГРП та камери гранулятора на реалізацію неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження при збільшенні висоти шару зернистого матеріалу із $d_e = 2,07$ мм $H_{0(1)} = 0,42$ м, $H_{0(2)} = 0,52$ м, $H_{0(3)} = 0,6$ м та встановлено що якісний гідродинамічний режим для висоти $H_{0(3)} = 0,6$ м забезпечується при $\phi = 3,2\%$, $w_{кр} = 0,735$ м/с та $K_w = 1,71$.

5. Експериментально підтверджено, що зменшення коефіцієнта живого перерізу ГРП забезпечує індекс динамічної якості гідродинаміки $i_{я} = 1.0$ за рахунок збільшення енергії газового струменя при відношенні $z_{\phi}/H_0 = 0,12/0,6 = 0,2$.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Експериментально встановлено, що при $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2$, розмір газової бульбашки утвореної при злитті струменів перевищує 1/3 ширини апарата і автоколивальний струменево-пульсаційний режим трансформується в квазі поршневий.

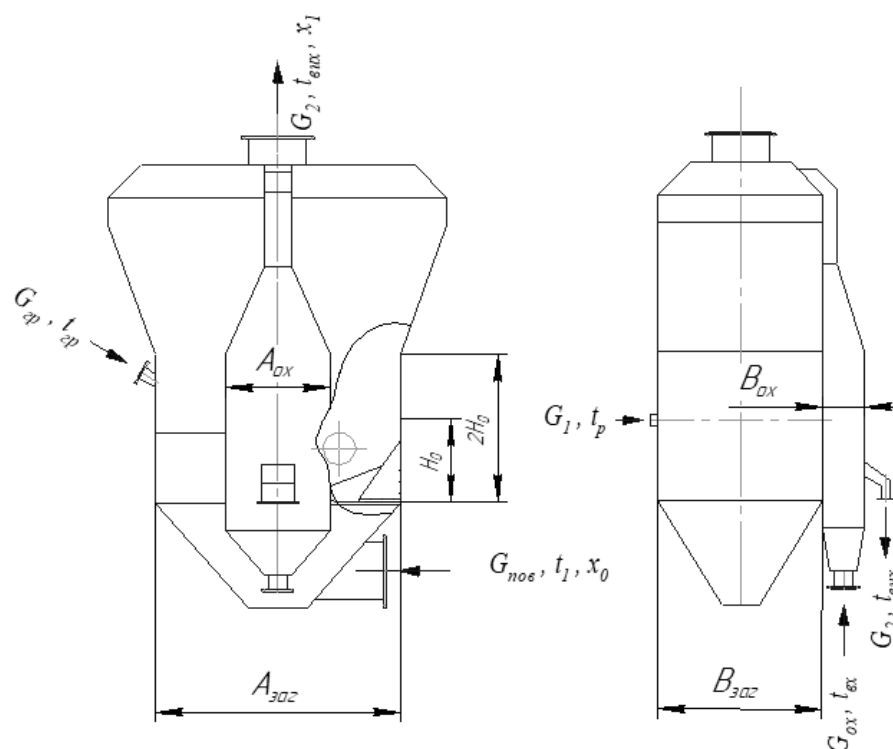
7. Експериментально доведено, що застосування еластичної сітки-відбійника дозволяє в 15,1 рази зменшити величину винесення матеріалу з камери гранулятора.

4.2 Розрахунок апарата для отримання органо-мінеральних добрив

Метою розрахунку є визначення конструктивно-технологічних розмірів апарату та параметрів процесу грануляції гуміново-мінеральних добрив.

Розрахунок проводився за методиками наведеними в [23] та [24].

Розрахункова схема гранулятора наведена на рисунку 4.25.



- 1 – корпус апарату; 2 – ГРП; 3 – направляюча вставка; 4 – диспергатор;
5 – штуцер введення теплоносія; 6 – штуцер виведення теплоносія

Рисунок 4.25 – Розрахункова схема гранулятора

4.2.1 Вихідні дані до розрахунку

Продуктивність гранулятора за готовим продуктом, кг/год	$G_2 = 500;$
Еквівалентний діаметр частинок у шарі, мм	$D_e = 2,1;$
Мінімальний діаметр часток у псевдозрідженому шарі, мм	$D_{\min} = 0,5;$
Порозність нерухомого шару	$\varepsilon_0 = 0,4;$
Кінцева вологість гранульованого продукту, %	$u_2 = 0,1;$
Коефіцієнт, що враховує втрати розчину в магістралі	$\alpha = 0,005;$
Концентрація початкового розчину, мас.ч.	$x_p = 40;$
Вологовміст теплоносія перед калорифером, %	$x_0 = 0,1;$
Температура теплоносія перед калорифером, °C	$t_0 = 18;$
Тиск в апараті, МПа	$P = 0,096;$
Температура теплоносія на вході в шар матеріалу, °C	$t_1 = 240;$
Температура теплоносія на виході із шару матеріалу, °C	$t_2 = 98;$
Температура матеріалу до гранулятора, °C	$\theta_1 = 18;$
Густина матеріалу, кг/м ³	$\rho_T = 1450;$
Теплоємність матеріалу, Дж/(кг·°C)	$C_m = 0,8;$
Теплоємність води, Дж/(кг·°C)	$C_b = 2400;$
Розрахунковий мінімальний коефіцієнт гранулоутворення, %	$\psi = 90.$

Аналітичні вирази, що визначають залежність теплофізичних параметрів теплоносія від температури t_0 , °C:

Густина теплоносія:

$$\rho_{\text{газ}}(t) = 1,29 \cdot \frac{273}{273 + t_0} = 1,29 \cdot \frac{273}{273 + 18} = 1,21 \text{ кг/м}^3.$$

Динамічна в'язкість теплоносія:

$$\mu(t)_{\text{газ}} = 1,717 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{t_0 + 273}{273} \right)^{0,82} = 1,717 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{18 + 273}{273} \right)^{0,82} = 1,809 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кінематична в'язкість теплоносія:

$$\nu(t)_{\text{газ}} = \frac{\mu(t)_{\text{газ}}}{\rho(t)_{\text{газ}}} = \frac{1,809 \cdot 10^{-5}}{1,21} = 1,495 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Теплоємність теплоносія:

$$\begin{aligned} c(t)_{\text{газ}} &= 1000 \cdot (1,0005 + 1,1904 \cdot 10^{-4} \cdot t_0) = \\ &= 1000 \cdot (1,0005 + 1,1904 \cdot 10^{-4} \cdot 18) = 1003 \text{ Дж}/(\text{кг} \times ^\circ\text{C}). \end{aligned}$$

Залежність теплопровідності теплоносія від температури t :

$$\lambda(t) = 2,44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{t + 273}{273} \right)^{0,82} = 2,44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{18 + 273}{273} \right)^{0,82} = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К}).$$

Залежність питомої ентальпії теплоносія від температури t та вологовмісту x :

$$\begin{aligned} I(x, t) &= 1,01 \cdot t_0 + x \cdot (2493 + 1,97 \cdot t) = \\ &= 1,01 \cdot 18 + 3,2 \cdot (2493 + 1,97 \cdot 18) = 43,465 \text{ кДж}/\text{кг}. \end{aligned}$$

де x – вологовміст повітря при температурі 18 °С і 45% вологості з ід діаграми.

Залежність парціального тиску водяних парів від абсолютного тиску P та вологовмісту x :

$$P_{\text{п}} = P \cdot \frac{x}{x + 0,622} = 101325 \cdot \frac{3,2}{3,2 + 0,622} = 84,84 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

Залежність тиску насичення від температури t , Па:

$$P_{\text{н}} = e^{\frac{1500,3 + 23,5 \cdot t_0}{234 + t_0}} = e^{\frac{1500,3 + 23,5 \cdot 18}{234 + 18}} = 2063 \text{ Па}.$$

Залежність температури мокрого термометра від ентальпії I :

$$\begin{aligned} t_{\text{м}}(I) &= \frac{-6,14 + 0,651 \cdot I}{(1 + 0,0097 \cdot I - 3,12 \cdot 10^{-6} \cdot I^2)} = \\ &= \frac{-6,14 + 0,651 \cdot 43,465}{(1 + 0,0097 \cdot 285,51 - 3,12 \cdot 10^{-6} \cdot 43,465^2)} = 15,65 ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Висновок: було визначено основні тепло-фізичні параметри зріджувального агенту.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

4.2.2 Матеріальний розрахунок гранулятора

Витрата вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності гранулятора G_2 та коефіцієнта гранулоутворення $\psi = 90\%$:

$$G_1 = \frac{G_2 \cdot (1 + \alpha) \cdot (100 - u_2)}{x_p \cdot \psi \cdot 3600} = \frac{500 \cdot (1 + 0,03) \cdot (100 - 0,1)}{[100 - (100 - 40)] \cdot 0,9 \cdot 3600} = 0,397 \text{ кг/с.}$$

Отже обираємо насос для дозування плунжерний серії. Насос призначений для роботи в хімічно агресивних середовищах.

Тоді кількість випареної води:

$$M_b = G_1 - \frac{G_2}{3600} = 0,397 - \frac{500}{3600} = 0,258 \text{ кг/с.}$$

Висновок: за результатами розрахунку була визначена кількість гетерогенного розчину, яку слід подавати до апарату для забезпечення заданої продуктивності.

4.2.3 Тепловий розрахунок гранулятора

Температура матеріалу у псевдозрідженому шарі приймаємо в середньому на 2 градуса меншою, ніж температура повітря, що покидає гранулятор:

$$t_{ш} = t_2 - 2 = 98 - 2 = 96 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Прийmemo модель повного перемішування матеріалу в апараті. Тоді можна припустити, що температура матеріалу після апарату рівна температурі матеріалу в шарі, $^{\circ}\text{C}$:

$$\theta_2 = t_{ш} = 96 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Витрати теплоти з висушеним матеріалом, що віднесена до одного кг видаленої води:

$$q_m = \frac{G_2 \cdot C_m \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{M_b \cdot 3600} = \frac{0,139 \cdot 0,8 \cdot (96 - 18)}{0,258 \cdot 3600} = 33,58 \text{ кДж/кг.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати теплоти в оточуюче середовище приймаємо 15% від загальних:

$$q_{\text{п}} = 0,15 \cdot \Delta = 0,15 \cdot 48,116 = 7,217 \text{ кДж/кг.}$$

Загальні теплові втрати віднесені до 1 кг випареної вологи:

$$\Delta = 1,15 \cdot (C_{\text{в}} \cdot \theta_1 - q_{\text{м}}) = 1,15 \cdot (4,19 \cdot 18_1 - 28,414) = 111,879 \text{ кДж/кг.}$$

Ентальпія теплоносія при параметрах при вході до калорифера знаходиться за формулою Рамзіна (3.10):

$$\begin{aligned} I_0 &= 1,01 \cdot t_0 + (2493 + 1,97 \cdot t_0) \cdot x_0 = \\ &= 1,01 \cdot 18 + (2493 + 1,97 \cdot 18) \cdot 0,01 = 43,465 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Ентальпія теплоносія при параметрах при виході із калорифера знаходиться за формулою Рамзіна, кДж/кг:

$$\begin{aligned} I_1 &= 1,01 \cdot t_{\text{ex}} + (2493 + 1,97 \cdot t_{\text{ex}}) \cdot x_0 = \\ &= 1,01 \cdot 240 + (2493 + 1,97 \cdot 240) \cdot 0,01 = 272,058 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Вологовміст теплоносія при параметрах при вході із апарату, кг в./кг п.:

$$x_2 = \frac{-I_1 + x_0 \cdot \Delta - t_2}{\Delta + 1,97 \cdot t_2 + 2493} = \frac{-272,058 + 0,01 \cdot 48,116 - 96}{48,116 + 1,97 \cdot 96 + 2493} = 0,067 \text{ кг в./кг.п.}$$

Питомі витрати теплоти:

$$q = \frac{I - I_0}{x_2 - x_0} = \frac{272,058 - 43,465}{0,067 - 0,01} = 4034,63 \text{ Дж/кг.}$$

Тепловий ККД гранулятора, %:

$$\eta = \frac{r_{\text{ш}}}{q} \cdot 100\% = \frac{2274}{4034,63} \cdot 100\% = 56,36\%,$$

$r_{\text{ш}}$ — теплота пароутворення для води при температурі шару:

$$r_{\text{ш}} = -2,362 \cdot 96 + 2501 = 2274 \text{ кДж/кг.}$$

Загальні витрати теплоти, кВт:

$$Q = q \cdot M_{\text{в}} \cdot 3600 = 4034,64 \cdot 0,258 = 1041 \text{ кВт.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Приймаємо калорифер типу СФО 100, з потужністю 500 кВт, та коефіцієнтом використання тепла 75%.

Кількість електрокалориферів:

$$n_K = \frac{Q}{E \cdot \eta_K} = \frac{1041}{500 \cdot 0,75} = 2,6.$$

Приймаємо $n_K = 3$.

Питомі витрати абсолютно сухого повітря, кг п./кг в.:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0} = \frac{1}{0,153 - 0,01} = 17,65 \text{ кг.п./кг.в.}$$

Загальна витрата теплоносія, кг пов/с:

$$L = l \cdot M_B = 17,65 \cdot 0,258 = 4,555 \text{ кг пов./с.}$$

Середня об'ємна витрата вологого повітря, м³/с:

$$V_{\text{пов}} = \frac{L}{\rho(t_1)} = \frac{4,555}{1,23} = 3,703 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Отже обираємо млиновий вентилятор типу ВВСМ ВМ – 15 із об'ємною продуктивністю $V = 4,1 \text{ м}^3/\text{с}$ [25].

Висновок: за результатами розрахунку була визначена кількість зріджувального агенту, яку слід подавати до калорифера, та підібрано млиновий вентилятор для забезпечення заданої продуктивності.

4.2.4 Розрахунок приведеної швидкості теплоносія

Критерій Архімеда для еквівалентного діаметра шару:

$$Ar = \frac{g \cdot D_e^3 \cdot (\rho_T - \rho_{\text{газ}})}{\nu_{\text{газ}}^2 \cdot \rho_T} = \frac{9,81 \cdot (2,1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot (1450 - 0,832)}{(1,495 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,832} = 1,194 \cdot 10^6,$$

де $\nu_{\text{газ}}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості теплоносія при середній температурі в

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

апараті, $\text{м}^2/\text{с}$; $\rho_{\text{газ}}$ – густина теплоносія при середній температурі в апараті, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 g – прискорення сили тяжіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Критерій Рейнольдса початку псевдозрідження для еквівалентного діаметра шару:

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{\text{Ar}}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{\text{Ar}}} = \frac{1,194 \cdot 10^6}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{1,194 \cdot 10^6}} = 168,1.$$

Критична швидкість початку псевдозрідження для еквівалентного діаметра $d_e=2,1$ мм, була визначена експериментальним шляхом і становить:

$$W_{\text{кр}} = \frac{\text{Re}_{\text{кр}} \cdot \nu_{\text{газ}}}{D_e} = \frac{168,1 \cdot 1,495 \cdot 10^{-5}}{2,1 \cdot 10^{-3}} = 1,005$$

Робоче число псевдозрідження, визначене експериментальним шляхом:

$$K_w = 1,71.$$

За значенням робочого числа псевдозрідження знаходимо робочу швидкість теплоносія:

$$W_p = K_w \cdot W_{\text{кр}} = 1,71 \cdot 1,005 = 1,719 \text{ м}/\text{с}.$$

Висновок: в результаті проведеного розрахунку було визначене робоче число псевдозрідження та швидкість початку псевдозрідження.

4.2.5 Розрахунок основних геометричних розмірів апарата

Розрахункова площа апарата необхідна для забезпечення підведення зріджувального агенту:

$$F_A = \frac{V_{\text{нов}}}{W_p} = \frac{3,703}{1,719} = 2,154 \text{ м}^2.$$

Задаємося загальною довжиною апарата $A_{\text{заг}}=1,8$, м. Тоді загальна ширина апарату:

$$B_{\text{заг}} = \frac{F_A}{A} = \frac{2,154}{1,8} = 1,197 \text{ м}.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийmemo $B_{\text{заг}} = 1,2$ м, тоді загальна площа апарата:

$$F_A = A \cdot B \cdot n = 1,8 \cdot 1,2 = 2,16 \text{ м}^2.$$

Прийmemo ширину одного модуля грануляції $B = 0,6$ м та довжину $A = 0,9$, тоді площа одного модулю грануляції:

$$F_M = A \cdot B = 0,9 \cdot 0,6 = 0,54 \text{ м}^2.$$

Визначимо кількість модулів грануляції:

$$n = \frac{F_A}{F_M} = \frac{2,16}{0,54} = 4.$$

Визначимо необхідну поверхню шару з умов масообміну.

Кількість води, яку необхідно видалити з шару:

$$M_{\text{вг}} = M_B \cdot 3600 = 0,258 \cdot 3600 = 929,125 \text{ кг вол.}$$

Експериментально встановлено, що при утворенні органо-мінерально-гумінових добрив у випадку зневоднення висококонцентрованих гетерогенних рідких систем максимальні значення питомого навантаження шару за випареною водою $a_{f \text{ експ}} = 0,7$ (кг вол)/(м²·год) при корисній різниці температур 100 °С.

$$a_f = a_{f \text{ експ}} \cdot \frac{\Delta T}{100} = 0,7 \cdot \frac{144}{100} = 1,008 \text{ (кг вол)/(м}^2 \cdot \text{год)},$$

де ΔT - корисна різниця температур:

$$\Delta T = T_{\text{вх}} - T_{\text{шару}} = 240 - 96 = 144 \text{ °С.}$$

Знайдемо необхідну поверхню шару для видалення заданої кількості води, м²:

$$f_{\text{ш}} = \frac{M_B}{a_f} = \frac{929,125}{1,008} = 921,751 \text{ м}^2.$$

Визначаємо питому поверхню шару:

$$\sigma = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon_0)}{d_e} = \frac{6 \cdot (1 - 0,4)}{2,1 \cdot 10^{-3}} = 1714 \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Визначаємо необхідний об'єм шару матеріалу необхідний для випаровування заданого вмісту вологи:

$$V_{ш} = \frac{f_{ш}}{\sigma} = \frac{921,751}{1714} = 0,538 \text{ м}^3.$$

Знаходимо дійсний об'єм шару в апараті:

$$V_{ш_0} = A_{заг} \cdot B_{заг} \cdot H \cdot K_w = 1,8 \cdot 1,2 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 1,1 \text{ м}^3.$$

Оскільки $V_{ш_0} > V_{ш}$, об'єм шару що знаходиться в апараті достатній для випаровування заданої кількості вологи.

Висновок: за результатами проведених розрахунків були визначені основні геометричні параметри модуля грануляції та необхідна кількість модулів грануляції.

4.2.6 Розрахунок основних розмірів ГРП

Схематичне зображення ГРП наведено на рисунку 4.26. Розрахунок зводиться до знаходження ширини щілин ГРП h_1 та h_2 .

Площу живого перерізу ГРП прийmemo рівною $\varphi = 3,2\%$. Тоді площа щілин:

$$F_{щ} = F_{м} \frac{\varphi}{100} = 0,54 \cdot \frac{3,2}{100} = 0,017 \text{ м}^2.$$

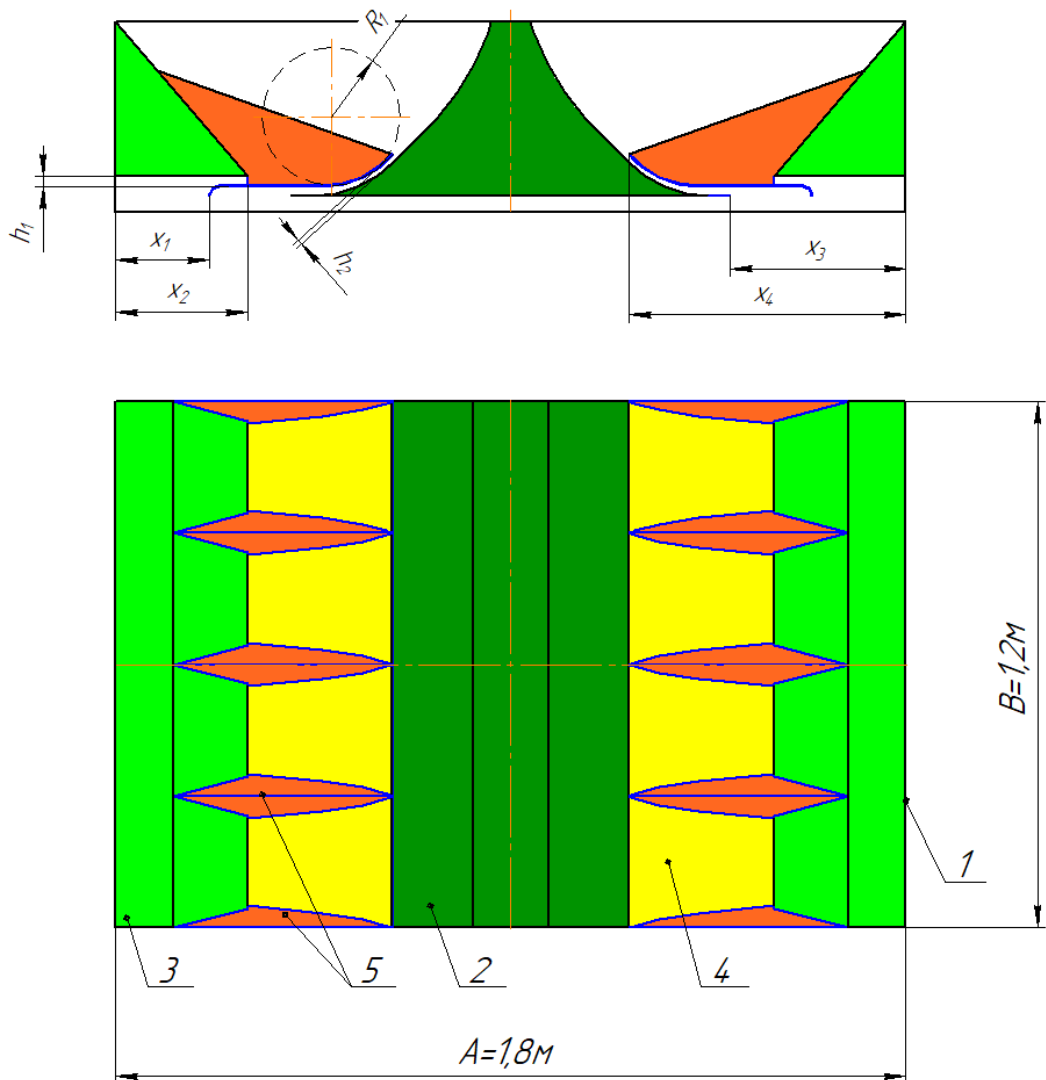
Швидкість зріджуючого агента в щілинах:

$$w_{щ} = \frac{V_{пов}}{F_{щ}} = \frac{3,703}{0,017} = 53,58 \text{ м/с}.$$

За результатами експериментальних досліджень встановлено співвідношення між F_1 та F_2 :

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{2 \cdot h_2 \cdot 0,71 \cdot B_2}{h_2 \cdot B_2} = \frac{1,42 \cdot h_2 \cdot B_2}{h_2 \cdot B_2} \Rightarrow F_1 = 1,42 F_2.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – корпус апарату; 2 – правий колосник; 3 – лівий колосник; 4 – пластина ГРП;
5 – бокова похила вставка

Рисунок 4.26 – Схематичне зображення ГРП

Тоді площа другої щілини:

$$F_2 = \frac{F_{uy}}{(1,42 + 1)} = \frac{0,017}{(1,42 + 1)} = 7,194 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Звідси:

$$F_1 = \Sigma F_{uy} - F_2 = 0,017 - 7,194 \cdot 10^{-3} = 0,01013 \text{ м}^2.$$

Ширина першої щілини:

$$h_{щ_1} = \frac{F_1}{0,75 \cdot B} = \frac{0,01013}{0,75 \cdot 0,6} = 0,023 \text{ м.}$$

Ширина другої щілини:

$$h_{щ_2} = \frac{F_2}{B} = \frac{7,149 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 0,012 \text{ м.}$$

Висновок: в результаті розрахунку було встановлено основні параметри газорозподільного пристрою.

4.2.7 Розрахунок діаметрів штуцерів введення та виведення теплоносія із гранулятора

Метою розрахунку є визначення діаметрів штуцерів, які забезпечать введення та виведення теплоносія.

Кількість штуцерів для введення теплоносія в апарат дорівнює кількості модулів грануляції.

Діаметр штуцера для введення теплоносія:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{пов}} \cdot \rho_x}{\pi \cdot w_{\text{рек}} \cdot \rho_r}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,703 \cdot \frac{1,223}{0,686}}{3,14 \cdot 30 \cdot 0,686}} = 0,418 \text{ м,}$$

де $w_{\text{рек}}$ – рекомендована швидкість руху повітря, $w_{\text{рек}} = 30$ м/с [25]; $V_{\text{пов}}$ – середня об'ємна витрата повітря, м³/с; ρ_x – густина теплоносія при температурі 18°C, $\rho_x = 1,23$ кг/м³; ρ_{ex} – густина теплоносія при температурі входу до апарата 240°C, $\rho_{\text{ex}} = 0,686$ кг/м³.

Приймаємо:

$$d_{\text{вн}} = 0,402 \text{ м, } d_{\text{з}} = 0,426 \text{ м.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсна швидкість:

$$w_d = \frac{4 \cdot V_{\text{пов}} \cdot \frac{\rho_x}{\rho_r}}{\pi \cdot \rho_e \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{43,703 \cdot \frac{1,23}{0,686}}{3,140,686 \cdot 0,402^2} = 32,4 \text{ м/с.}$$

Оскільки густина теплоносія перед входом в апарат і після мало відрізняються, то діаметр штуцера для виведення теплоносія розраховується за виразом, м:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{пов}} \cdot \frac{\rho_x}{\rho_2}}{\pi \cdot W_{\text{рек}} \cdot \rho_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,703 \cdot \frac{1,23}{0,954}}{3,14 \cdot 25 \cdot 0,954}} = 0,378 \text{ м,}$$

де ρ_2 - густина теплоносія на виході з гранулятора при температурі 98 °С,
 $\rho_2 = 0,954 \text{ кг/м}^3$;

Приймаємо:

$$d_{\text{вн}} = 0,402 \text{ м, } d_3 = 0,426 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$w_{\text{с.п.в.}} = \frac{4 \cdot V_{\text{пов}} \cdot \frac{\rho_x}{\rho_2}}{\pi \cdot \rho_2 \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{43,703 \cdot \frac{1,23}{0,954}}{3,140,954 \cdot 0,402^2} = 26,54 \text{ м/с.}$$

Висновок: за проведеними розрахунками були визначені діаметри штуцерів для входу та виходу зріджувального агенту.

4.2.7 Гідравлічний розрахунок апарату

Основний гідравлічний опір апарату складається із опору шару твердих частинок та газорозподільного пристрою.

Визначення гідравлічного опору штуцерів.

Коефіцієнт гідравлічного опору штуцерів визначають за формулою:

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

$$\zeta = 0,3164 \cdot \frac{1}{\text{Re}^{0,25}} = 0,3164 \cdot \frac{1}{168,1^{0,25}} = 0,0272.$$

Гідравлічний опір штуцера підведення зріджувального агенту:

$$\Delta P_{\text{вх}} = \xi_2 \frac{l}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho_1 \cdot \omega^2}{2} = 0,272 \cdot \frac{0,22 \cdot 0,686 \cdot 32,4^2}{0,402 \cdot 2} = 53,6 \text{ Па},$$

Гідравлічний опір штуцера відведення зріджувального агенту:

$$\Delta P_{\text{вих}} = \xi_2 \frac{l}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho_1 \cdot \omega^2}{2} = 0,272 \cdot \frac{0,22 \cdot 0,954 \cdot 26,54^2}{0,402 \cdot 2} = 50,01 \text{ Па},$$

Гідравлічний опір шару:

$$\Delta P_{\text{шару}} = \rho_{\text{т}} \cdot g \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot H_{\text{ш}_0} = 1450 \cdot 9,81 \cdot (1 - 0,4) \cdot 0,6 = 5121 \text{ Па}.$$

Гідравлічний опір газорозподільного пристрою:

$$\Delta P_{\text{грп}} = \xi_2 \frac{W_{\text{ш}}^2 \cdot \rho_{\text{газ1}}}{2} = 2,41 \cdot \frac{53,58^2 \cdot 0,686}{2} = 2373 \text{ Па},$$

де ξ_1 – коефіцієнт гідравлічного опору ГРП. Для заданої конструкції становить $\xi_1 = 2,41$.

Тоді сумарний гідравлічний опір гранулятора (без циклонів) буде:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{вх}} + \Delta P_{\text{вих}} + \Delta P_{\text{шару}} + \Delta P_{\text{ГРП}} = 53,6 + 50,01 + 5121 + 2373 = 7597,61 \text{ Па}.$$

Підбираємо димосос ВДН 11,2 з максимальним створюваним тиском розрідження 16,9 кПа, потужністю 132 кВт, об'ємною продуктивністю 7,4 м³/с [26].

Витрати потужності:

$$N = \sum \Delta P \cdot V_{\text{пов}} = 7,597 \cdot 3,703 = 28,13 \text{ кВт}.$$

Індекс потужності, що характеризує витрати потужності на 1 кг готової продукції, кВт/(кг гран. продукту):

$$i_N = \frac{N \cdot 3600}{G_2} = \frac{28,13 \cdot 3600}{0,139} = 728,6 \text{ кВт/год}.$$

Висновок: було визначено величину гідравлічного опору гранулятора, та підібрано димосос для забезпечення розрідження в апараті.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

4.2.9 Розрахунок параметрів зони охолодження

Для визначення кількості повітря, яке необхідне для охолодження гранульованого продукту складемо рівняння матеріального балансу:

$$G_{нов} \cdot c_{нов} \cdot (t_{вх.нов} - t_{вих.нов}) = G_{зр} \cdot c_{зр} \cdot (t_{вх} - t_{вих}).$$

Звідки:

$$G_{нов} = \frac{G_{зр} \cdot c_{зр} \cdot (t_{вх} - t_{вих})}{c_{нов} \cdot (t_{вих.нов} - t_1)} = \frac{500}{3600} \cdot 1350 \cdot (96 - 25) = 0,323 \text{ кг/с.}$$

де $c_{зр}$ – питома теплоємність гранульованого продукту, $c_{зр} = 1350 \text{ Дж/кг} \times ^\circ\text{C}$;
 $c_{нов}$ – питома теплоємність повітря, при температурі 18°C , $c_{нов} = 1003 \text{ Дж/кг} \times ^\circ\text{C}$;
 $t_{вх}$ – температура гранульованого продукту на виході з камери охолодження,
 $t_{вх} = 25^\circ\text{C}$; $t_{вих.нов}$ – температура повітря після камери охолодження, $t_{вих.нов} = 60^\circ\text{C}$.

Об'ємні витрати повітря:

$$V_{нов} = \frac{G_{нов}}{\rho_x} = \frac{0,323}{1,23} = 0,263 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Площа поперечного перерізу зони охолодження:

$$F_{ох} = \frac{V_{нов}}{w_{нов}} = \frac{0,263}{1,6} = 0,164 \text{ м}^2.$$

де $w_{нов}$ – швидкість повітря в камері охолодження; $w_{нов} = 1,6 \text{ м/с}$.

Прийmemo довжину зони охолодження $A_{ох} = 0,8 \text{ м}$, тоді ширина зони охолодження:

$$B_{ох} = \frac{F_{ох}}{A_{ох}} = \frac{0,164}{0,8} = 0,206 \text{ м.}$$

Приймаємо ширину зони охолодження $B_{ох} = 0,21 \text{ м}$.

Висновок: в результаті проведеного розрахунку були визначені основні параметри зони охолодження.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.10 Розрахунок теплової ізоляції

Мета: розрахувати товщину теплової ізоляції.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.27.

Вихідні дані:

Матеріал 12X18Н10;

Довжина апарата А, м 1,8;

Температура шару t_w , °С 96.

Товщину теплової ізоляції розраховуємо за методикою [32, с 87-88].

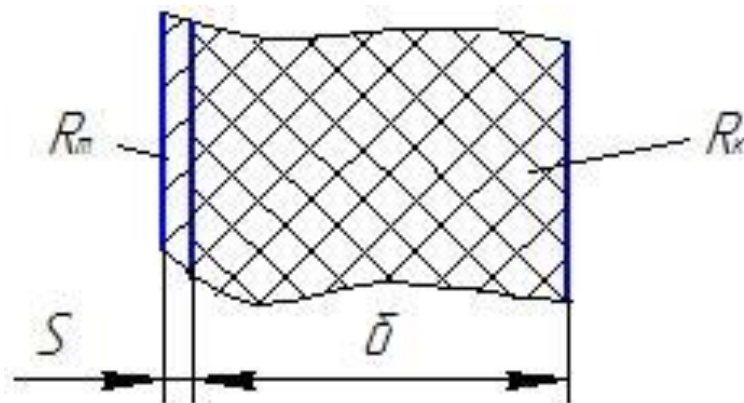


Рисунок 4.27 – Розрахункова схема

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, становить, °С:

влітку

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{96 + 40}{2} = 68 \text{ °С},$$

взимку

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{96}{2} = 48 \text{ °С}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції

влітку

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 68 = 0,063 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

взимку

$$\lambda'_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t'_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 48 = 0,059 \text{ Вт/(м·К)}.$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda'_k$, то розраховується тільки для літніх умов:

$$\lambda_k = 0,062 \text{ Вт/(м·К)}.$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1} = \frac{96 - 20}{68 \cdot 1} = 1,118 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}.$$

де q – нормована поверхня щільності теплового потоку, Вт/м²К.

Для території України $K_1 = 1,0$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,118 - \frac{1}{7} - 0 = 0,975 \text{ м}^2\text{К/Вт},$$

де $\alpha_e = 7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища. Оскільки обичайка корпусу апарата виготовлена зі сталевого прокату, то термічний опір $R_m = 0$.

Товщина теплоізоляційного шару δ_k :

$$\delta_k = \lambda_k \cdot R_k = 0,062 \cdot 0,975 = 0,061 \text{ м}.$$

Товщина теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мінераловатних прошивних мат становить 1,2.

Тоді за формулою товщина δ_1 :

$$\delta_1 = \delta_k \cdot K_c \cdot \frac{a + \delta_k}{a + 2 \cdot \delta_k} = 0,055 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,808 + 0,061}{1,808 + 2 \cdot 0,061} = 0,071 \text{ м}.$$

де $a = A + 2 \cdot S = 1,8 + 2 \cdot 0,004 = 1,808 \text{ м}$, максимальний зовнішній розмір апарата;
 $S = 0,004 \text{ м}$ – товщина стінки апарата.

Висновок: Відповідно до ГОСТ 21880-94 теплоізоляційного шару виконується з мінераловатного прошивного матеріалу марки 125, товщина становить 80 мм.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розрахунок апарата з перемішуючим пристроєм

4.3.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата з перемішуючим пристроєм

Метою розрахунку є визначення геометричних розмірів апарата з перемішуючим пристроєм. Методику розрахунку наведено в [27].

Розрахункова схема до параметричного розрахунку наведена на рисунку 4.28.

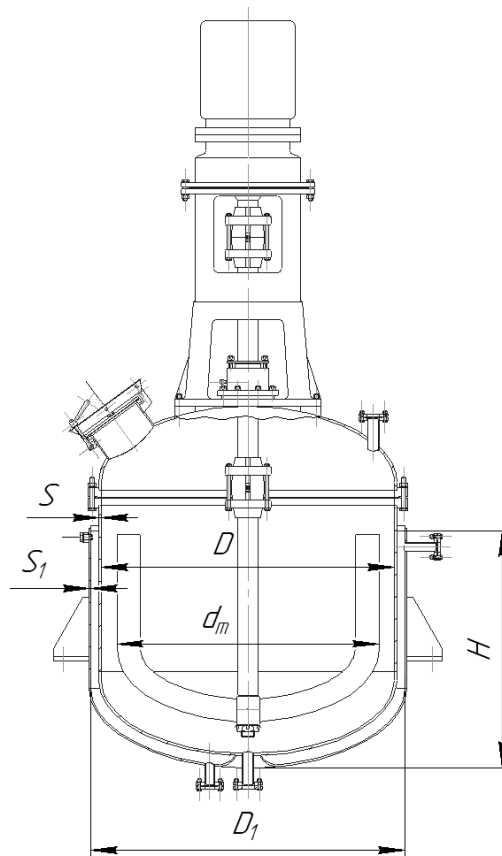


Рисунок 4.28 – Схема апарата з перемішуючим пристроєм

Вихідні дані:

Продуктивність за вихідним продуктом, кг/с

$$G_2 = 0,397;$$

Масова концентрація розчиненої речовини, %

$$x_p = 40;$$

Час необхідний для проходження процесу, с

$$\tau = 1800;$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Густина реакційної маси, кг/м ³	$\rho_p = 1227,7;$
Динамічна в'язкість розчину, Па·с	$\mu_p = 1300 \cdot 10^{-6};$
Теплоємність суміші, Дж/(кг·К)	$c_p = 3,36 \cdot 10^3;$
Коефіцієнт теплопровідності розчину, Вт/(м·К)	$\lambda_p = 0,7348;$
Коефіцієнт заповнення	$\eta = 0,8;$
Температура на вході в апарат, °С	$t_0 = 18;$
Температура необхідна для повного розчинення, °С	$t_1 = 40;$
Температура гріючого агенту на вході, °С	$t_2 = 90;$
Температура гріючого агенту на виході, °С	$t_3 = 45;$
Питома теплоємність гріючого агенту, Дж/ кг	$c_z = 4,19 \cdot 10^3;$
Густина гріючого агенту, кг/м ³	$\rho_z = 983;$
Коефіцієнт динамічної в'язкості гріючого агенту, Па·с	$\mu = 470 \cdot 10^{-6};$
Коефіцієнт теплопровідності гріючого агенту, Вт/(м·К)	$\lambda = 0,659.$

Загальний об'єм апарата:

$$V_p = \frac{G_2 \cdot \tau}{\rho_p \cdot x \cdot \eta} = \frac{0,397 \cdot 1800}{1227,7 \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 1,861 \text{ м}^3.$$

Кількість теплоти необхідне для повного розчинення:

$$Q_{роз} = \frac{G}{x} \cdot c_p \cdot (T_1 + T_0) = \frac{0,406}{0,4} \cdot 3,36 \cdot 10^3 \cdot (313 + 291) = 75,05 \text{ кВт}.$$

Визначаємо умовний коефіцієнт швидкості підведення тепла:

$$K_y = \frac{Q_{роз}}{V_p \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{75,05 \cdot 10^3}{1,861 \cdot (363 - 313)} = 806,7 \text{ Вт/(м}^3 \times \text{К)}.$$

Оскільки $K_y < 900 \text{ Вт/(м}^3 \times \text{К)}$, то в апараті не потрібно встановлювати внутрішній теплообмінний пристрій, так як не потрібно мати розвинену поверхню теплообміну.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Приймаємо апарат з наступними технічними характеристиками, таблиця 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика апарата [27]

Внутрішній об'єм апарата, м ³	2,5
Внутрішній діаметр апарата, м	1,4
Внутрішній діаметр оболоні, м	1,5
Висота оболоні H , м	1,1
Діаметр перемішуючого пристрою d_m , м	1,25
Товщина стінки апарата, мм	14
Товщина стінки оболоні, мм	8
Маса апарата M , кг	2440
Матеріал апарата	Сталь 12Х18Н10 ГОСТ 5632-72

Кількість теплоти, що підводиться до апарата з урахуванням втрат:

$$Q_{вт} = 0,1 \cdot Q_{роз} = 0,1 \cdot 75,05 \cdot 10^3 = 7505 \text{ Вт},$$

$$Q = Q_{роз} + Q_{вт} = 75,05 \cdot 10^3 + 7505 = 82,55 \text{ кВт}.$$

Витрата гріючого агенту:

$$G_z = \frac{Q}{c_z \cdot (T_2 - T_3)} = \frac{82,55 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (363 - 318)} = 0,328 \text{ кг/с}.$$

Площа поперечного перерізу потоку:

$$F = 0,785 \cdot [D_1^2 - (D + 2 \cdot S)^2] = 0,785 \cdot [1,5^2 - (1,4 + 2 \cdot 0,014)^2] = 0,165 \text{ м}^2.$$

Швидкість гріючого агенту, м/с:

$$w_z = \frac{G_z}{\rho_z \cdot F} = \frac{0,328}{983 \cdot 0,165} = 2,02 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{4,7 \cdot 10^{-4} \cdot 4,19 \cdot 10^{-3}}{0,659} = 2,988.$$

Визначення коефіцієнта тепловіддачі гріючого агенту.

Різниця між температурою гріючого агенту та розчином:

$$T_{cp1} = \frac{T_2 + T_3}{2} = \frac{363 + 318}{2} = 335,5 \text{ K},$$
$$T_{cp2} = \frac{T_1 - T_0}{2,3 \cdot \log\left(\frac{T_1}{T_0}\right)} = \frac{313 - 291}{2,3 \cdot \log\left(\frac{313}{291}\right)} = 302,2 \text{ K},$$
$$\Delta t = T_{cp1} - T_{cp2} = 335,5 - 302,2 = 33,3^\circ\text{C}.$$

Задаємося коефіцієнтами $A=0,4$, $B=0,16$.

З системи рівнянь визначаємо температуру стінки:

$$t_{cm1} = T_{cp1} - A \cdot \Delta t$$
$$t_{cm2} = T_{cp2} - B \cdot \Delta t \rightarrow t_{cm1} = 320,4^\circ\text{C}, t_{cm2} = 307^\circ\text{C}.$$

Середня різниця температур, $^\circ$:

$$\Delta t_1 = t_{cm1} - T_1 = 320,4 - 313 = 7,4^\circ\text{C}.$$

Визначаємо коефіцієнт об'ємного розширення:

$$\beta = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 \cdot (T_2 - T_3)} = \frac{996 - 972}{972 \cdot (363 - 303)} = 4,115 \cdot 10^{-4}.$$

Визначаємо критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot H^3 \cdot \beta \cdot \Delta t_1}{\left(\frac{\mu}{\rho_p}\right)^2} = \frac{9,81 \cdot 1,1^3 \cdot 4,115 \cdot 10^{-4} \cdot 7,4}{\left(\frac{4,7 \cdot 10^{-4}}{983}\right)^2} = 40,9 \cdot 10^{10}.$$

В залежності від $Gr \cdot Pr$ визначаємо коефіцієнти $C=0,135$ та $f=1/3$.

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = C \cdot \frac{\lambda}{H} \cdot (Gr \cdot Pr)^f = 0,135 \cdot \frac{0,659}{1,1} \cdot (40,9 \cdot 10^{10} \cdot 2,988)^{1/3} = 864,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

Визначення Рейнольдса в середині апарата:

$$\text{Re}_m = \frac{\rho_p \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_p} = \frac{1228 \cdot 0,33 \cdot 1,25^2}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 48,69 \cdot 10^4.$$

де n – частота обертів перемішуючого пристрою.

Критерій Прандтля в апараті:

$$\text{Pr}_m = \frac{c_p \cdot \mu_p}{\lambda_p} = \frac{3,36 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{0,735} = 5,944.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку розчину:

$$\begin{aligned} \alpha_p &= \left(0,0335 \cdot \text{Re}_m^{0,8} + 1,14 \cdot \text{Re}_m^{0,5} \right) \cdot \frac{\text{Pr}_m^{0,33} \cdot \lambda_p}{d_m} = \\ &= \left(0,0335 \cdot (48,69 \cdot 10^4)^{0,8} + 1,14 \cdot (48,69 \cdot 10^4)^{0,5} \right) \cdot \frac{5,944^{0,33} \cdot 0,735}{1,25} = \\ &= 2100,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \end{aligned}$$

Коефіцієнт теплопередачі в мішалці:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_p} + \frac{S}{\lambda_m}} = \frac{1}{\frac{1}{864,7} + \frac{1}{2100,3} + \frac{0,014}{16,4}} = 334,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Знаходимо дійсні значення коефіцієнтів A і B :

$$A_1 = \frac{K}{\alpha} = \frac{334,9}{864,7} = 0,387,$$

$$B_1 = \frac{K}{\alpha_p} = \frac{334,9}{2100,3} = 0,159.$$

Визначаємо похибку між прийнятими та дійсними значеннями:

$$\Delta_A = \frac{A - A_1}{A} \cdot 100\% = \frac{0,4 - 0,387}{0,4} \cdot 100\% = 3,18\%,$$

$$\Delta_B = \frac{B - B_1}{B} \cdot 100\% = \frac{0,16 - 0,159}{0,16} \cdot 100\% = 0,35\%,$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

оскільки отримані значення похибок не перевищують 10%, можна зробити висновок, що обрані значення А і В забезпечують необхідну точність розрахунку.

Поверхня теплообміну необхідна для забезпечення підведення тепла:

$$F = \frac{Q}{K \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{82,55 \cdot 10^3}{390,39 \cdot (363 - 313)} = 4,93 \text{ м}^2.$$

Потужність приводу апарата з перемішуючим пристроєм:

$$N = K \cdot d_m^5 \cdot n \cdot \rho_p = 6,42 \cdot 1,25^5 \cdot 0,33 \cdot 1227,2 = 864,41 \text{ Вт.}$$

Приймаємо трьохфазний електродвигун АИР120LA8, Р=1,2 кВт, n=750 об/хв, $\eta=0,75$.

Визначаємо потужність двигуна необхідного для перемішування з врахуванням ККД:

$$N_o = \frac{N}{\eta} = \frac{864,41}{0,75} = 1153 \text{ Вт.}$$

Оскільки $N_o > P$, двигун підібрано вірно.

Висновок: в результаті проведеного розрахунку були визначені основні геометричні розміри апарата з перемішуючим пристроєм, та необхідна площа поверхні теплообміну для забезпечення заданої температури розчину.

4.3.2 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію та перевірка її на міцність.

Вихідні дані:

Розрахункова температура в апараті t_k , °С, 40;

Тиск в середині апарата з перемішуючим пристроєм, МПа 0,1;

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.29.

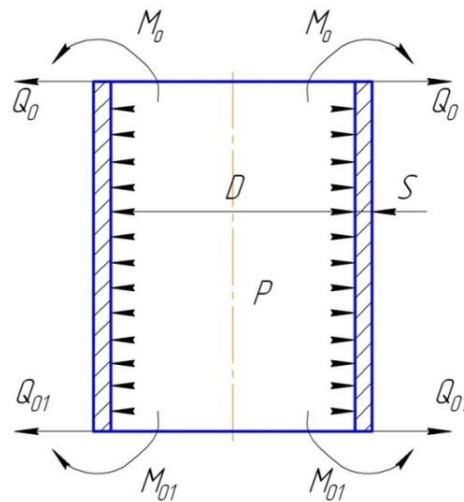


Рисунок 4.29 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім тиском

Діаметр D_3 , м 1,4;

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [28, с. 7 – 10].

Для сталі марки 12X18H10 за розрахункової температури $t=40^\circ\text{C}$ допустиме напруження [28]:

$$[\sigma] = 181,5 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва ϕ_p .

$$\phi_p = 0,9$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки S_R , м.

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} = \frac{0,1 \cdot 1,4}{2 \cdot 181,5 \cdot 0,9 - 0,1} = 5,511 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S = S_R + c_1 = (0,55 + 4) \cdot 10^{-3} = 4,55 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Граничне відхилення по товщині прокату листового прокату залежно від товщини приймається за [29, с.266-267].

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0.$$

Сума додатків:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = (4 + 0,6 + 0) \cdot 10^{-3} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки S :

$$S = S_R + c = (0,55 + 4,6) \cdot 10^{-3} = 5,15 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $S = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск $[p]$:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 181,5 \cdot 0,9 \cdot (12 - 4,6)}{1400 + 12 - 4,6} = 1,338 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності

$$p \leq [p], 1,338 \text{ МПа} \leq 0,1 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,012 м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,012 м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3.3 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією зовнішнього тиску.

Вихідні дані:

Діаметр D , м

1,4;

Висота H , м

2;

Тиск p_R , МПа

0,1;

Матеріал

Сталь 12Х18Н10

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [28, с. 7-9].

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.30.

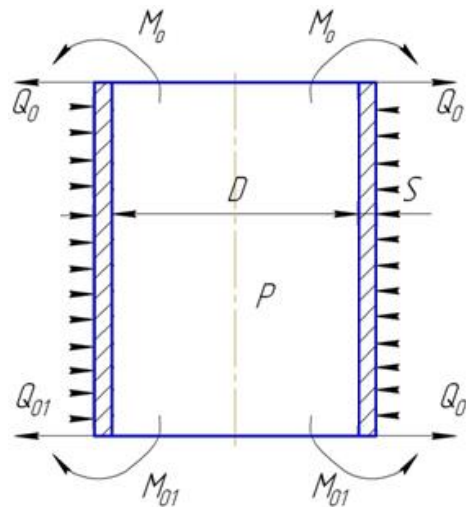


Рисунок 4.30 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском

Коефіцієнт K_2 визначаєм по номограмі [14, с. 8]

$$K_1 = \frac{n_y \cdot P}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = 0,3, \quad (4.3)$$

де $n_y = 1,5$ - коефіцієнт запасу міцності, $E = 2,03$ - модуль пружності.

$$K_3 = \frac{H}{D} = 1,429, \quad (4.4)$$

тоді:

$$K_2 = 0,3.$$

Товщина стінки:

$$S_p = \max \left\{ K_2 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = 0,0042 \text{ м.} \quad (4.5)$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні S :

$$S = S_R + c_1 = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (4.6)$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0 \text{ м.}$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (4.7)$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки S :

$$S = S_R + c = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (4.8)$$

З конструктивних міркувань приймаємо $S = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Допустимий тиск із умови міцності

$$[P]_{II} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D + S - c} = 1,857 \text{ МПа.} \quad (4.9)$$

Допустимий тиск з умови стійкості в межах пружності

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L} \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right)^{2,5} = 0,374 \text{ МПа.} \quad (4.10)$$

де $L = H$ - приведена довжина, визначено з літератури [13, с. 14].

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_1 = \min \left\{ 1; 9,45 \cdot \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - c)}} \right\} = 1 \quad (4.11)$$

Допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_E} \right)^2}} = 0,367 \text{ МПа.} \quad (4.22)$$

Умова міцності та стійкості:

$$[P] \geq P,$$

$$0,367 \text{ МПа} \geq 0,1 \text{ МПа.}$$

Висновок: попередньо прийнята товщина стінки в розрахунку обичайки під дією внутрішнього тиску не забезпечує міцність та стійкість конструкції, орієнтуючись на розрахунок під дією зовнішнього тиску товщину обичайки приймаємо 12 мм. Блок-схема та програма розрахунку наведені в додатку Г.

4.3.4 Розрахунок еліптичного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки еліптичної кришки і перевірка її на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.31.

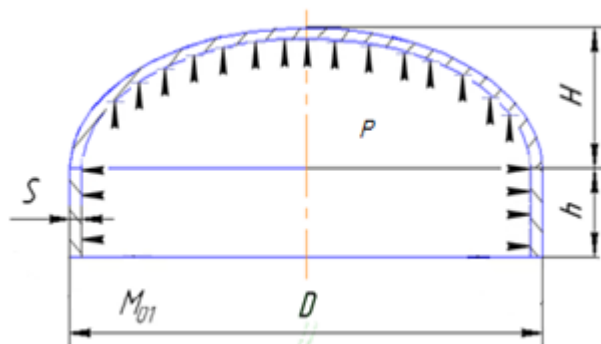


Рисунок 4.31 – Схема до розрахунку еліптичного днища

Вихідні дані:

Діаметр апарата D , м 1,4;

Тиск p_R , МПа 0,1;

Матеріал Сталь 12X18Н10

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [29, с. 168-173].

Внутрішній радіус кривизни у вершині днища R_e :

$$R_e = \frac{D^2}{4 \cdot h_b} = \frac{1,4^2}{4 \cdot 0,35} = 1,4 \text{ м},$$

де

$$h_b = 0,25 \cdot 1,4 = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35 \text{ м}.$$

Допустиме напруження матеріалу кришки за розрахункової температури $[\sigma]$, за розрахункової температури $t=40^\circ$ [28].

$$[\sigma] = 181,5 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва ϕ_p .

$$\phi_p = 0,9.$$

Розрахункова товщина стінки днища S_R .

$$S_R = \frac{p \cdot R_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} = \frac{0,1 \cdot 1,4}{2 \cdot 181,5 \cdot 0,9 - 0,1} = 4,286 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Виконавча товщина стінки кришки у першому наближенні:

$$S = S_R + c_1 = (0,43 + 4) \cdot 10^{-3} = 4,43 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0.$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = (4 + 0,6 + 0) \cdot 10^{-3} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S = S_R + c = (0,43 + 4,6) \cdot 10^{-3} = 5,03 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $S = 0,012 \text{ м.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{R_e + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 181,5 \cdot 0,9 \cdot (12 - 4,8) \cdot 10^{-3}}{1,4 + 0,1 \cdot (12 - 4,8) \cdot 10^{-3}} = 1,68 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності

$$[p] \geq p,$$

$$1,68 \text{ МПа} \geq 0,1 \text{ МПа}.$$

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,012 м забезпечує міцність кришки апарата в умовах робочих навантажень.

4.3.5 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку: розрахувати фланцеве з'єднання, що складається з двох

плоских приварних фланців, зробити перевірку міцності прокладки та болтів, а також перевірити на міцність та герметичність фланцеве з'єднання.

Розрахункова схема фланцевого з'єднання показана на рисунку 4.32.

Вихідні дані:

Внутрішній тиск P , МПа 0,1;

Температура середовища t , °C 40;

Внутрішній діаметр фланцевого з'єднання D , м 1,4;

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

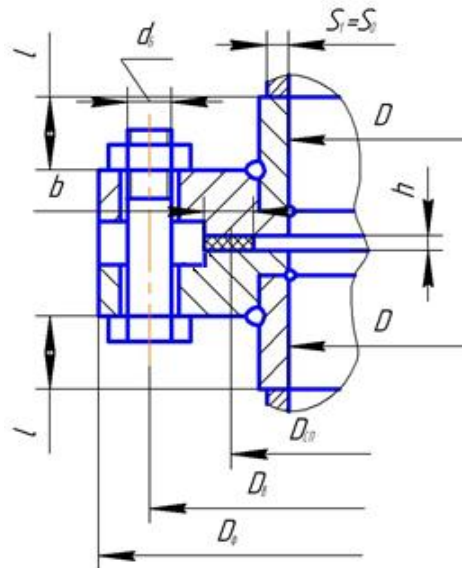


Рисунок 4.32 – Розрахункова схема фланцевого з'єднання

Товщина стінки апарату S_0 , м 0,012;

Товщина прокладки h , м 0,002;

Ширина прокладки b , м 0,02.

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [30, с. 62-68].

I. Розрахунок допоміжних величин.

Відношення більшої товщини втулки до меншої приймаємо $\beta=1$.

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 1,448 - 0,02 = 1,428 \text{ м},$$

де $D_{\text{п}}$ – зовнішній діаметр прокладки, $D_{\text{п}} = 1,448$ м;

b – ширина прокладки за таблицею 2 [30], $b = 0,02$ м.

Ефективна ширина прокладки:

$$\text{при } b > 0,015 \text{ м } b_{\text{Е}} = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,02} = 8,485 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{D} = \frac{1,53}{1,4} = 1,093,$$

де D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,06}{\sqrt{1,4 \cdot 0,012}} = 0,463 \text{ м},$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,06}{\sqrt{1,4 \cdot 0,012}} = 0,463 \text{ м},$$

де $h_{\phi 1}$ та $h_{\phi 2}$ – висота першого та другого фланців, $h_{\phi 1} = h_{\phi 2} = 0,06$ м.

Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \lg(K_{\phi}) = 1,28 \lg(1,093) = 0,049 \text{ м},$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,093 + 1}{1,093 - 1} = 23,538 \text{ м}.$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу S_0 приймаємо $\psi_3 = 1$.

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,06}{0,012} = 5,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,06}{0,012} = 5.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_{\phi})) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,093^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,093)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,093^2) \cdot (1,093 - 1)} = 1,878.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\begin{aligned} \omega_{\phi 1} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)]^{-1} = \\ &= [1 + 0,9 \cdot 0,463 \cdot (1 + 0,049 \cdot 5^2)]^{-1} = 0,518, \\ \omega_{\phi 2} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)]^{-1} = \\ &= [1 + 0,9 \cdot 0,463 \cdot (1 + 0,049 \cdot 5^2)]^{-1} = 0,518. \end{aligned}$$

Кутова піддатливість фланців:

$$\begin{aligned} y_{\phi 1} &= \frac{[1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}^t} = \frac{[1 - 0,518 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,463)] \cdot 22,538}{0,06^3 \cdot 1,95 \cdot 10^5} = 0,143 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}^2}, \\ y_{\phi 2} &= \frac{[1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}^t} = \frac{[1 - 0,67 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,463)] \cdot 22,538}{0,06^3 \cdot 1,95 \cdot 10^5} = 0,143 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}^2}, \end{aligned}$$

де $E_{\phi 1}^t$ та $E_{\phi 2}^t$ – модулі пружності матеріалу фланців, $E_{\phi 1}^t = E_{\phi 2}^t = 1,95 \cdot 10^5$ МПа.

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,06 + 0,06 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,128 \text{ м},$$

де d_B – діаметр болта, $d_B = 0,02$ м.

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

$$y_{\Pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b \cdot E_n} = \frac{0,002}{3,141,428 \cdot 0,02 \cdot 195} = 1,144 \cdot 10^{-4} \frac{м}{МПа},$$

де E_n – модуль пружності прокладки, $E_n = 195$ МПа.

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_B = 0,785 \cdot d_o^2 = 0,785 \cdot 0,023^2 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де d_o – діаметр отвору, $d_o = 0,023$ м.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_B = \frac{L_B}{E_B^t \cdot f_B \cdot z_B} = \frac{0,128}{1,92 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 48} = 5,892 \cdot 10^{-5} \frac{м}{МН},$$

де E_B^t – модуль пружності болта, $E_B^t = 1,92 \cdot 10^5$ МПа;

z_B – кількість болтів у фланцевому з'єднанні, $z_B = 68$.

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned} A_{\Phi} &= [y_{\Pi} + y_B + 0,25 \cdot (y_{\Phi 1} + y_{\Phi 2}) \cdot (D_B - D_{cn})^2]^{-1} = \\ &= [1,144 \cdot 10^{-4} + 5,892 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,089 + 0,089) \cdot (1,49 - 1,428)^2]^{-1} = \\ &= 2236 \text{ м/МН}. \end{aligned}$$

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\Phi 1} = y_{\Phi 1} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,089 \cdot (1,49 - 1,4 - 0,012) = 0,01112 \text{ 1/МН},$$

$$B_{\Phi 2} = y_{\Phi 2} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,089 \cdot (1,49 - 1,4 - 0,012) = 0,01112 \text{ 1/МН}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\Phi} \cdot y_B = 2236 \cdot 5,892 \cdot 10^{-5} = 0,132.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot [y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})] = 2236 \cdot [5,892 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,01112 + 0,01112) \cdot (1,49 - 1,428)] = 0,902,$$

де $D_{\text{Б}}$ – діаметр болтового кола, $D_{\text{Б}} = 1,49$ м.

II. Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

$$t_6 = t_{\phi} \cdot 0,97 = 40 \cdot 0,97 = 38,8^{\circ}\text{C}$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{д}} = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,428^2 \cdot 0,1 = 0,16 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки у робочих умовах:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot t \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,428 \cdot 8,485 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,19 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned} Q_{t\phi} &= \gamma \cdot z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot E_{\text{Б}}^t \cdot (\alpha_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - \alpha_{\text{Б}}^t \cdot t_{\text{Б}}) = \\ &= 0,147 \cdot 48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,95 \cdot 10^5 \cdot (1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 40 - 12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 38,8) = \\ &= 0,062 \text{ МН.} \end{aligned}$$

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{\text{Б1}} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot q = 3,14 \cdot 1,428 \cdot 8,485 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,761 \text{ МН,}$$

$$P''_{\text{Б1}} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_{\text{д}} + P) + R_n + \frac{4M}{D_{\text{сп}}} = 0,902 \cdot (0,16 + 0) + 0,019 + \frac{40}{1,428} = 0,163 \text{ МН.}$$

$$P'''_{\text{Б1}} = 0,4 \cdot [\sigma_{\text{Б}}]^{20} \cdot Z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} = 0,4 \cdot 130 \cdot 48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,587 \text{ МН.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

Розрахункове навантаження на болти $p \leq 0,6$ МПа, тому:

$$P_{B1} = \max\{P'_{B1}; P''_{B1}; P'''_{B1}\} = \max\{0,761; 0,163; 0,587\} = 0,761 \text{ МН.}$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{B1}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b} = \frac{0,761}{3,14 \cdot 1,428 \cdot 0,02} = 8,485 \leq [q] = 130 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$\begin{aligned} P_{B2} &= P_{B1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d + P) + Q_{t\phi} = \\ &= 0,761 + (1 - 0,902) \cdot (0,16 + 0) + 0,062 = 0,839 \text{ МН.} \end{aligned}$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{B\phi} = \max\{P_{B1}; P_{B2}\} = \{0,761; 0,839\} = 0,839 \text{ МН.}$$

Напруження в болтах за умов монтажу:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B1}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,761}{48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 67,494 \text{ МПа.}$$

Напруження розтягування в болтах за робочих умов:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B2}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,839}{48 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 74,352 \text{ МПа.}$$

Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{B\phi}}{z_B} \cdot d_B = 0,1_1 \cdot \frac{0,839}{48} \cdot 0,02 = 3,495 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_o^3} = \frac{3,495 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,023^3} = 14,361 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_B^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{67,494^2 + 3 \cdot 14,361^2} = 71,931 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_B^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{74,352 + 3 \cdot 14,361^2} = 78,402 \text{ МПа.}$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_B^{20} = 71,931 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^{20} = 130 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_B^t = 78,402 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^t = 123,39 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються.

III. Розрахунок фланців на міцність

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{Б\phi} \cdot (D_B - D_{cn}) = 0,5 \cdot 0,761 \cdot (1,49 - 1,428) = 0,024 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{Б2} \cdot (D_B - D_{cn}) + Q_{\phi} \cdot (D_{cn} - D - S_0)] \cdot \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot [0,839 \cdot (1,49 - 1,428) + 0,16 \cdot (1,428 - 1,4 - 0,012)] \cdot \frac{184}{181,5} = 0,028 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} = \{0,024; 0,028\} = 0,028 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

37. Максимальні напруження в перерізі S_0 фланців від дії вигинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{0\phi 1} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 1}}{D^* \cdot (S_0 - c)^2} = 1 \cdot \frac{1,878 \cdot 0,028 \cdot 0,518}{1,4 \cdot (0,012 - 0,0048)^2} = 324,037 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{0\phi 2} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 2}}{D^* \cdot (S_0 - c)^2} = 1 \cdot \frac{1,878 \cdot 0,028 \cdot 0,518}{1,4 \cdot (0,012 - 0,0048)^2} = 324,037 \text{ МПа},$$

де $D^* = D = 1,4 \text{ м}$, якщо $D = 1,4 \geq 20 \cdot S_0 = 20 \cdot 0,012 = 0,24 \text{ м}$.

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\begin{aligned} \sigma_{\kappa\phi 1} &= \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 1}^2} = \\ &= \frac{0,028 \cdot [1 - 0,518 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,463)] \cdot 22,538}{1,4 \cdot 0,06^2} = 32,932 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\kappa\phi 1} &= \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 2}^2} = \\ &= \frac{0,028 \cdot [1 - 0,518 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,463)] \cdot 22,538}{1,4 \cdot 0,06^2} = 32,932 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Кільцеве та меридіанне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску p :

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} = \frac{0,11,4}{2 \cdot (0,012 - 0,0048)} = 9,091 \text{ МПа},$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{P \cdot D}{4(S_0 - c)} = \frac{0,11,4}{4(0,012 - 0,0048)} = 4,545 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців:

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1}) \cdot \sigma_{x\phi 1}} =$$

$$\sqrt{(324,037 + 4,545)^2 + 9,091 - (324,037 + 4,545) \cdot 9,091} = 324,133 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})^2 + \sigma_{x\phi 2}^2 - (\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2}) \cdot \sigma_{x\phi 2}} =$$

$$\sqrt{(324,037 + 4,545)^2 + 9,091 - (324,037 + 4,545) \cdot 9,091} = 324,133 \text{ МПа.}$$

Умова міцності:

$$[\sigma_{\phi 1}^{S_0}] = [\sigma_{\phi 2}^{S_0}] = 0,003 \cdot E_{\phi 1}^t = 0,003 \cdot E_{\phi 2}^t = 0,003 \cdot 1,95 \cdot 10^5 = 584,67 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{E\phi 1} = 324,133 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \cdot \varphi = 584,67 \cdot 0,9 = 526,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = 324,133 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\phi 2}^{S_0}] \cdot \varphi = 584,67 \cdot 0,9 = 526,2 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються

Умови герметичності:

$$\text{При } D = 1,4 \leq 2 \text{ м } [\theta] = 0,009 \text{ рад}$$

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 1} \cdot D}{E_{\phi 1}^t \cdot h_{\phi 1}} = \frac{32,932 \cdot 1,4}{1,95 \cdot 0,06} = 0,004 < [\theta] = 0,009,$$

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 2} \cdot D}{E_{\phi 2}^t \cdot h_{\phi 2}} = \frac{32,932 \cdot 1,4}{1,95 \cdot 0,06} = 0,004 < [\theta] = 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

Висновок: в результаті розрахунку був прийнятий плоский приварний фланець для діаметра гріючої камери $D=1,4$ м, тиском $P=0,1$ МПа. Умови міцності та герметичності фланцевого з'єднання виконуються.

4.3.6 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап

Мета: перевірити несучу спроможність обичайки під дією опорних навантажень.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.33.

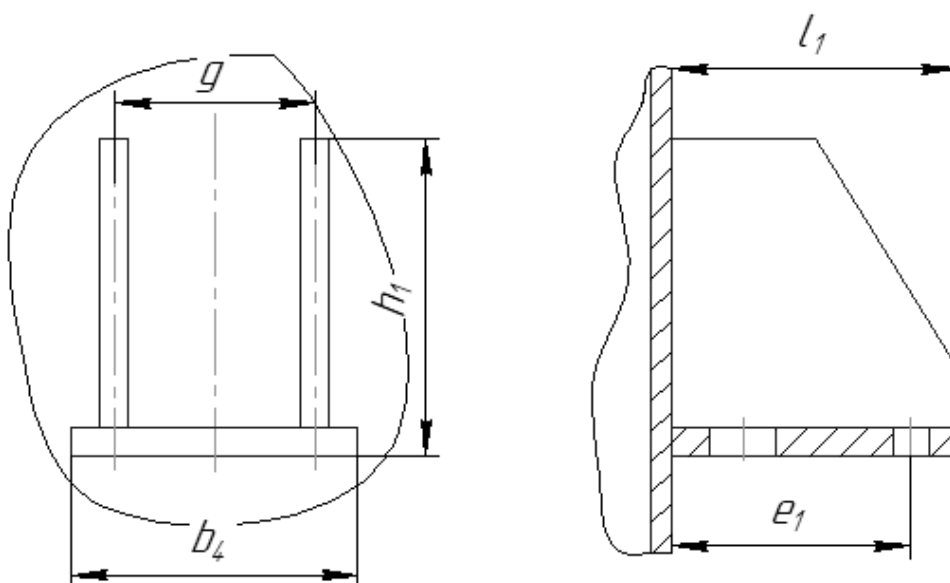


Рисунок 4.33 – Розрахункова схема

Вихідні данні

Виліт опори l_1 , м	0,23;
Товщина стінки апарату S , м	0,008;
Висота опори h_1 , м	0,36;
Діаметр апарату внутрішній D , м	1,516;
Число опор z	4;
Допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	181,5;

Ширина стійки b_4 , м 0,23;

Робочий тиск P , МПа 0,1;

Маса апарата G , кг 2440.

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [31, с. 69 – 79].

Визначаємо вагу заповненого апарата:

$$G = (G_a + G_p) \cdot g = (2240 + 1827) \cdot 9.81 = 41859 \text{ Н.}$$

Розрахунковий діаметр обичайки:

$$D_R = D = 1,516 \text{ м.}$$

Умова застосування формул:

$$\frac{(S-c)}{D_R} \leq 0,05$$

$$\frac{(0,008-0,0048)}{1,516} = 0,0021 \leq 0,05$$

де c – прибавка до товщини листа.

Умова виконується.

Відстань між точкою прикладання зусилля та обичайкою або підкладним листом:

$$e_1 = 5 \cdot l_1 / 6 = 5 \cdot 0,23 / 6 = 0,192 \text{ м.}$$

Загальні мембранні напруження:

$$\sigma_{my} = \frac{P \cdot D_R}{2 \cdot (S - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,516}{2 \cdot (0,008 - 0,0048)} = 23,69 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт $K_2=1,2$ – для робочих умов

Коефіцієнт міцності зварного шва:

Якщо $f > \sqrt{D_R \cdot S}$ то $\phi = 1$, інакше ϕ - за умовою задачі.

$$\sqrt{D_R \cdot S} = \sqrt{1,516 \cdot 0,008} = 0,11 > 0,1$$

отже $\phi = 0,9$.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

Перевірка несучої спроможності вузла приварки опорної лапи до циліндричної обичайки без підкладного листа.

Загальні мембранні напруження у циліндричних обичайках для $\phi = 0,9$:

$$\sigma_m = \sigma_{my} = 23,69 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними напруженнями:

$$v_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma] \cdot \phi} = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{23,69}{181,5 \cdot 0,9} = 0,116.$$

Коефіцієнт що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

Якщо $v_2 \geq 0, v_1 = 0,3$.

Коефіцієнт K_1

$$K_1 = \frac{1+3 \cdot v_1 \cdot v_2}{3 \cdot v_1^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot v_1^2 (1-v_2^2)}{(1+3 \cdot v_1 \cdot v_2)^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,116}{3 \cdot 0,3^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 (1-0,116^2)}{(1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,116)^2} + 1} - 1 \right) = 1,172.$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи:

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,172 \cdot 181,5 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 265,9 \text{ МПа.}$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки:

$$u = \ln \left[\frac{D_R}{2 \cdot (S - C)} \right] = \ln \left[\frac{1,516}{2 \cdot (0,008 - 0,0048)} \right] = 5,468,$$

$$y = \ln \left(\frac{h_1}{D_R} \right) = \ln \left(\frac{0,36}{1,518} \right) = -1,438,$$

$$y_1 = \ln \left(\frac{b_4}{D_R} \right) = \ln \left(\frac{0,23}{1,516} \right) = -1,886.$$

Коефіцієнт K_7 :

$$K_7 = f_1(u, y)$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\ln z = (-5,964 - 11,395 \cdot u - 18,987 \cdot y - 2,413 \cdot u^2 - 7,286 \cdot uy - 2,042 \cdot y^2 + 0,1322 \cdot u^3 + 0,483 \cdot u^2 \cdot y + 0,8469 \cdot u \cdot y^2 + 1,428 \cdot y^3) \cdot 10^{-2}.$$

$$K_7 = z = 0,89.$$

Зусилля, що діє на опорну лапу, яка приварена до циліндричної обичайки:

$$F_1 = \frac{G}{2} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + S)} = \frac{41859}{2} + \frac{3173}{1,516 + 2 \cdot (0,192 + 0,008)} = 2,259 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

де $M = e \cdot D_R \cdot G = 0,05 \cdot 1,516 \cdot 41859 = 3173 \text{ Нм}$, e – ексцентриситет центра мас.

Допустиме зусилля у вузлі приварки опорної лапи до обичайки:

$$\text{Якщо } \frac{g}{h_1} = \frac{0,197}{0,360} = 0,547 \geq 0,5$$

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 \cdot (S - C)^2}{K_7 \cdot e_1} = \frac{265,9 \cdot 0,36 \cdot (0,008 - 0,0048)^2}{0,89 \cdot 0,4} = 7,994 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Умова несучої спроможності опорного вузла:

$$F_1 \leq [F_1].$$

$$2,259 \cdot 10^4 > 7,994 \cdot 10^4$$

Умова міцності несучої спроможності виконується, тому введення підкладного листа не потрібно.

Висновок: умова несучої спроможності виконується, введення в конструкції підкладного листа не потрібно.

4.3.7 Розрахунок товщини теплової ізоляції

Мета: розрахувати товщину теплової ізоляції.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.34.

Вихідні дані:

Матеріал 12X18H10;

Діаметр корпусу D, м 1,516;

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура гріючого агента t_w , °C

90.

Товщину теплової ізоляції розраховуємо за методикою [32, с 87-88].

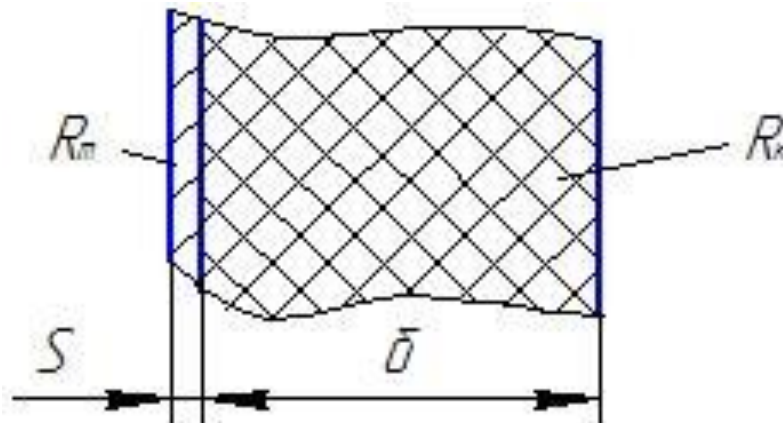


Рисунок 4.34 – Розрахункова схема

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, становить, °C:

влітку

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{90 + 40}{2} = 65 \text{ °C},$$

взимку

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ °C}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції

влітку

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 65 = 0,062 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

взимку

$$\lambda'_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t'_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 45 = 0,058 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda'_k$, то розраховується тільки для літніх умов:

$$\lambda_k = 0,062 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1} = \frac{90 - 20}{68 \cdot 1} = 1,029 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}.$$

де q – нормована поверхня щільності теплового потоку, Вт/м²К.

Для території України $K_1 = 1,0$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,029 - \frac{1}{7} - 0 = 0,887 \text{ м}^2\text{К/Вт},$$

де $\alpha_e = 7$ Вт/м²К, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища. Оскільки обичайка корпусу апарата виготовлена зі сталевого прокату, то термічний опір $R_m = 0$.

Товщина теплоізоляційного шару δ_k :

$$\delta_k = \lambda_k \cdot R_k = 0,062 \cdot 0,887 = 0,064 \text{ м.}$$

Товщина теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мінераловатних прошивних мат становить 1,2.

Тоді за формулою товщина δ_1 :

$$\delta_1 = \delta_k \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_k}{d + 2 \cdot \delta_k} = 0,055 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,516 + 0,055}{1,516 + 2 \cdot 0,055} = 0,064 \text{ м.}$$

де $d = D + 2 \cdot S = 1,8 + 2 \cdot 0,016 = 1,832$ м, зовнішній діаметр.

Висновок: Відповідно до ГОСТ 21880-94 теплоізоляційного шару виконується з мінераловатного прошивного матеріалу марки 125, товщина становить 80 мм.

4.3.8 Розрахунок валу механічного переміщуючого пристрою на вібростійкість

Метою розрахунку є визначення розрахункового діаметру вала, який задовольняє умовам вібростійкості, та знайти першу критичну кутову швидкість вала.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.35.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

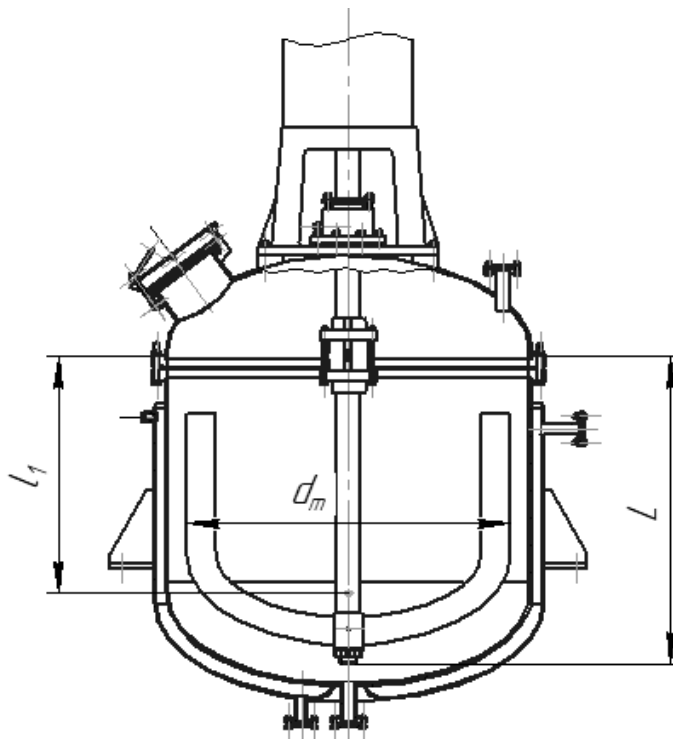


Рисунок 4.35 - Схема до розрахунку вала механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість

Вихідні дані:

довжина вала L , м	1,2;
кількість деталей в прольоті n_d	1;
координати центрів ваги мішалки, l_1 , м	0,9;
маса мішалки m_{11} , кг	21;
густина матеріалу вала ρ , кг/м ³	7850;
частота обертання вала n , об/хв	0,33;
модуль пружності матеріалу вала E , Па	$2,1 \cdot 10^{11}$;
коефіцієнт, що враховує умову вібростійкості ζ	0,7;
коефіцієнт, що враховує умову закріплення η	48
коефіцієнт приведення маси вала, q	0,5.

Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою наведено в літературі [34].

Відносна координата центра тяжіння мішалки в прольоті:

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{0,9}{1,2} = 0,75 \text{ м.}$$

Безрозмірний динамічний прогин в центрі тяжіння мішалки:

$$\overline{y_{l1}} = \sin(\pi \cdot \bar{l}_1) = 0,62.$$

Кутова швидкість вала:

$$\omega = \pi \cdot \frac{0,33}{30} = 0,035 \text{ с}^{-1}.$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$f = \frac{8 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot L^2}{\xi^2 \cdot \eta \cdot E} = \frac{8 \cdot 7850 \cdot 0,035^2 \cdot 1,2^2}{0,7^2 \cdot 48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = 2,184 \cdot 10^{-5}.$$

Приведена маса мішалки в прольоті:

$$m_{\text{пр}} = m_1 \cdot \overline{y_{l1}}^2 = 21 \cdot 0,62^2 = 13,02 \text{ кг.}$$

Перший підкореневий одночлен:

$$A_1 = q \cdot f \cdot L^2 = 0,5 \cdot 2,184 \cdot 10^{-5} \cdot 1,2^2 = 1,573 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Другий підкореневий одночлен:

$$A_2 = \frac{8 \cdot m_{\text{пр}} \cdot f \cdot L}{\pi \cdot \rho} = \frac{8 \cdot 13,02 \cdot 0,7343 \cdot 10^{-5} \cdot 1,2}{3,14 \cdot 7850} = 8,374 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Розрахунковий діаметрвала:

$$d_p = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} =$$

$$= \sqrt{1,573 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,573 \cdot 10^{-5})^2 + 8,374 \cdot 10^{-5}}} = 0,0056 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_p = 0,095 \text{ м.}$

Маса 1 м довжини вала:

$$m_L = \frac{\pi \cdot d_p^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,095^2 \cdot 7850}{4} = 55,614 \text{ кг.}$$

Відносна приведена маса деталі:

$$\overline{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_L \cdot L} = \frac{13,02}{55,614 \cdot 1,2} = 0,236 \text{ кг.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

Корінь частинного рівняння:

$$\alpha = f(\overline{m_{\text{пр}}}) = 0,6.$$

Момент інерції перерізу вала:

$$J = \frac{\pi \cdot d_p^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,095^4}{64} = 3,996 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Перша критична кутова швидкість:

$$\omega_{\text{кр1}} = \left(\frac{\alpha}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m_L}} = \left(\frac{0,6}{1,2}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,996 \cdot 10^{-6}}{55,614}} = 30,71 \text{ с}^{-1}.$$

Перевіримо виконання умови вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{кр}}} \leq 0,7,$$

$$\frac{0,035}{30,71} = 1,125 \cdot 10^{-3} < 0,7.$$

Умова виконується

Висновок: вал перемішуючого пристрою задовольняє умову вібростійкості та може експлуатуватися за даних умов.

4.3.9 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Метою розрахунку є визначити максимальні сумарні зміщення вала від осі обертання в небезпечних по жорсткості перерізах: в місцях встановлення ущільнювальних пристроїв; в місцях де зазори між деталями, що обертаються та нерухомими деталями - малі.

Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою наведено в літературі [34].

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.36

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

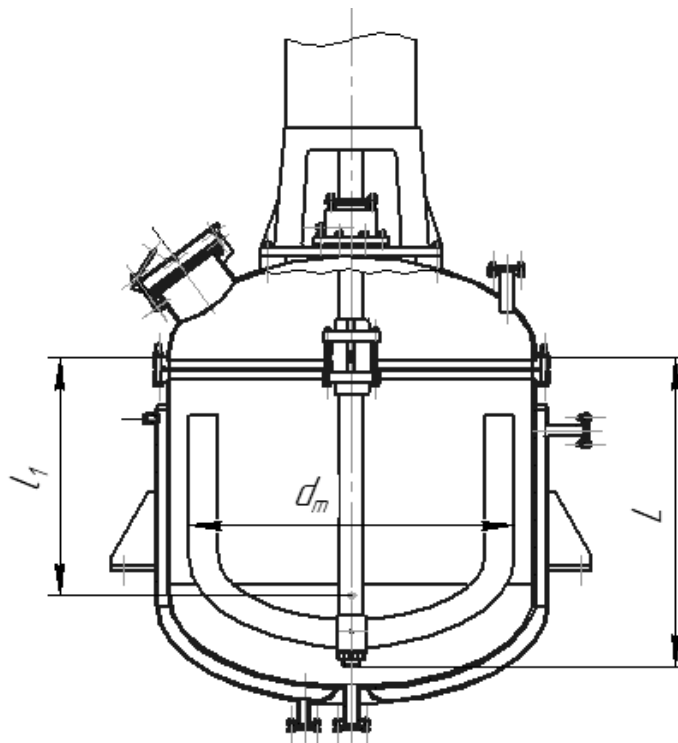


Рисунок 4.36 - Схема до розрахунку вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Вихідні дані:

довжина вала L , м	1,2;
кількість деталей в прольоті n_d	1;
координати центрів ваги мішалок l_1 , м	0,9;
маса мішалки m_1 , кг	21;
частота обертання вала n , об/хв	0,33;
кутова швидкість ω , с^{-1}	0,035;
густина матеріалу вала ρ , кг/м^3	7850;
модуль пружності матеріалу вала E , Па	$2,1 \cdot 10^{11}$;
початкова вгнутість вала в точці приведення ε в, м	$0,06 \cdot 10^{-3}$;
радіальні зазори в опорах $\Delta_{A,}$, м	$0,04 \cdot 10^{-3}$;
Δ_B , м	$0,07 \cdot 10^{-3}$;
допустимі зміщення в небезпечних по жорсткості перерізах, $[A_{zi}]=[A_{zlj}]$, м	$0,25 \cdot 10^{-3}$;

в місцях встановлення деталей, $[A_{li}]$, м

$1 \cdot 10^{-2}$.

Ексцентриситет маси деталі:

$$e_1 = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{0,035}} = 5,345 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Відносна координата небезпечного по жорсткості перерізу:

$$\bar{Z}_1 = \frac{Z_1}{L} = \frac{0,9}{1,2} = 0,75 \text{ м.}$$

Безрозмірний динамічний прогин в небезпечному по жорсткості перерізі в прольоті:

$$\bar{y}_{z1} = f(\bar{Z}_1) = 0,62.$$

Відносна координата центра тяжіння мішалки в прольоті:

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{0,9}{1,2} = 0,75 \text{ м.}$$

Безрозмірний динамічний прогин вала в місці встановлення деталі:

$$\bar{y}_{l1} = f(\bar{l}_1) = 0,62.$$

Приведений ексцентриситет маси деталі:

$$e_{1np} = \frac{e_1}{\bar{y}_{l1}} = \frac{5,345 \cdot 10^{-3}}{0,62} = 8,621 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приведена маса вала:

$$m_{вnp} = 0,5 \cdot m_L \cdot L = 0,5 \cdot 13,02 \cdot 1,2 = 7,812 \text{ кг.}$$

Приведена маса деталі:

$$m_{1np} = m_1 \cdot \bar{y}_{l1}^2 = 7,812 \cdot 0,62^2 = 3,003 \text{ кг.}$$

Зміщення перерізу вала в точці приведення В, пов'язане с зазорами в опорах:

$$\Delta_B = \frac{(\Delta_A + \Delta_B)}{2} = \frac{(0,04 \cdot 10^{-3} + 0,07 \cdot 10^{-3})}{2} = 2,003 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Приведений (до точки В) ексцентриситет мас деталей:

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$e_{\text{пр}} = \frac{m_{1\text{нр}} \cdot e_{1\text{нр}}}{m_{\text{внр}} + m_{1\text{нр}}} + \Delta_B + \varepsilon_B =$$

$$= \frac{3,003 \cdot 8,621 \cdot 10^{-3}}{7,812 + 3,003} + 2,003 \cdot 10^{-5} + 0,06 \cdot 10^{-3} = 2,474 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Осьовий момент інерції перерізу валу:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,095^4}{64} = 3,996 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Відносна приведена маса деталей:

$$\overline{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_L \cdot L} = \frac{3,003}{55,614 \cdot 1,2} = 0,045 \text{ кг.}$$

Корінь частого рівняння:

$$\alpha_1 = f(\overline{m}_{\text{пр}}) = 0,22.$$

Перша критична кутова швидкість:

$$\omega_{\text{кр}} = \left(\frac{\alpha_1}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m_L}} = \left(\frac{0,52}{1,2}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,996 \cdot 10^{-6}}{55,614}} = 4,129 \text{ с}^{-1}.$$

Динамічний прогин валу в точці приведення:

$$y_B = \frac{e_{\text{нр}}}{(\omega_{\text{кр}}/\omega)^2 - 1} = \frac{8,621 \cdot 10^{-3}}{(4,129/0,035)^2 - 1} = 6,196 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Зміщення перерізу вала в точці закріплення деталі, викликане зазорами в перерізах:

$$\Delta_{li} = (\Delta_B - \Delta_A) \cdot \bar{l}_i + \Delta_A = (0,07 \cdot 10^{-3} - 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,75 + 0,04 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1,035 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Зміщення небезпечного перерізу вала, викликане зазорами в опорах:

$$\Delta_{Z1} = (\Delta_B - \Delta_A) \cdot Z_i + \Delta_A = (0,07 \cdot 10^{-3} - 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,75 + 0,04 \cdot 10^{-3}$$

$$= 1,035 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення деталі, викликане початковою вгнутістю вала:

$$\varepsilon_{l1} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{li} = 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 0,62 = 4,32 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

Зміщення небезпечного по жорсткості перерізу вала, викликане початковою вгнутістю вала:

$$\varepsilon_{Z1} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{Zi} = 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 0,72 = 3,72 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Сумарне динамічне зміщення перерізу вала в точці приведення В:

$$A_B = y_B + \varepsilon_B + \Delta_B = 6,196 \cdot 10^{-7} + 0,06 \cdot 10^{-3} + 2,003 \cdot 10^{-5} = 8,065 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Сумарне динамічне зміщення перерізу вала в центрі маси деталі:

$$A_{l1} = y_B \cdot \bar{y}_{li} + \varepsilon_{li} + \Delta_{li} + e_i = 6,196 \cdot 10^{-7} \cdot 0,62 + 4,32 \cdot 10^{-5} + 1,035 \cdot 10^{-5} + 5,345 \cdot 10^{-3} = 5,399 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Сумарне динамічне зміщення вала в небезпечному перерізі:

$$A_{Zi} = y_B \cdot \bar{y}_{Zi} + \Delta_{Zi} + \varepsilon_{Zi} = 6,197 \cdot 10^{-7} \cdot 0,62 + 1,035 \cdot 10^{-5} + 3,72 \cdot 10^{-5} = 9,11 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Перевіримо виконання умови жорсткості в прольоті:

$$A_{Zi} \leq [A_{Zi}],$$

$$A_{li} \leq [A_{li}],$$

$$A_{Z1} = 9,11 \cdot 10^{-5} < 0,25 \cdot 10^{-3},$$

$$A_{li} = 5,399 \cdot 10^{-3} < 1 \cdot 10^{-2}.$$

Умови жорсткості виконуються.

Висновок: після проведених розрахунків можемо зробити висновок, що вал можливо використовувати за заданих умов експлуатації.

4.3.10 Розрахунок штуцерів

Мета розрахунку: визначення розмірів штуцерів, в залежності від швидкості руху теплоносіїв та їх масових витрат.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.35.

Вихідні дані:

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати гріючого агента $G_{г.а.}$, кг/с	0,328;
Вхідна кількість води $G_{в.}$, кг/с	0,223;
Вихідна кількість розчину $G_{р.}$, кг/с	0,379;

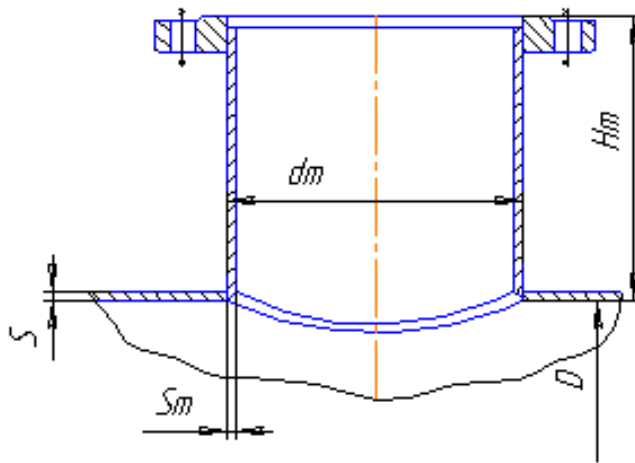


Рисунок 4.37 – Розрахунок штуцерів

Для розрахунку діаметрів штуцерів приймаємо значення для швидкостей потоку із рекомендованого діапазону для рідини та газів [27, с. 25-26].

Згідно рекомендацій наведених [27] приймаємо рекомендовану швидкість руху розчину на вході $\omega_{п}=0,4 - 0,5$ м/с,

Вхід води:

$$d_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{в}}}{\pi \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \omega_{\text{в}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,223}{3,14 \cdot 997,6 \cdot 0,4}} = 0,027 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_{\text{з}} = 0,049 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,057 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\text{р}} = \frac{4 \cdot G_{\text{н}}}{\pi \cdot \rho_{\text{р}} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 0,223}{3,14 \cdot 997,6 \cdot 0,049^2} = 0,118 \text{ м/с.}$$

Вихід розчину:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 G_p}{\pi \cdot \rho_p \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{40,379}{3,141227 \cdot 7 \cdot 0,4}} = 0,031 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,049 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,057 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\text{упр}} = \frac{4 G_{\text{упр}}}{\pi \cdot \rho_{\text{упр}} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{40,379}{3,141227 \cdot 7 \cdot 0,049^2} = 0,118 \text{ м/с.}$$

Вхід гріючого агенту:

$$d_{\text{з.а.}} = \sqrt{\frac{4 G_{\text{з.а.}}}{\pi \cdot \rho_{\text{з.а.}} \cdot \omega_{\text{з.а.}}}} = \sqrt{\frac{40,328}{3,14965 \cdot 0,5}} = 0,029 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,038 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,045 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\text{з.н.}} = \frac{4 G_{\text{з.н.}}}{\pi \cdot \rho_{\text{з.н.}} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{40,328}{3,14965 \cdot 0,038^2} = 0,3 \text{ м/с.}$$

Вихід гріючого розчину:

$$d_{\kappa} = \sqrt{\frac{4 G_{\kappa}}{\pi \cdot \rho_{\kappa} \cdot \omega_{\kappa}}} = \sqrt{\frac{40,328}{3,14996 \cdot 0,5}} = 0,029 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,038 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,045 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\kappa} = \frac{4 G_{\kappa}}{\pi \cdot \rho_{\kappa} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{40,328}{3,14996 \cdot 0,038^2} = 0,29 \text{ м/с.}$$

Приймаємо стандартний штуцер для входу води та входу робочого розчину за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м

0,05;

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зовнішній діаметр патрубку, d_T , м	0,057;
товщина стінки патрубку, S_T , м	0,004;
висота штуцера, H_T , м	0,155.

Приймаємо стандартний штуцер для входу та виходу гріючого агенту за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,04;
зовнішній діаметр патрубку, d_T , м	0,045;
товщина стінки патрубку, S_T , м	0,0035;
висота штуцера, H_T , м	0,155.

Висновок: в результаті проведеного розрахунку були визначені діаметри патрубків штуцерів і визначені дійсні швидкості руху теплоносіїв та розчинів.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		128

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Завданням охорони праці є забезпечення таких умов праці при яких до мінімуму зводиться імовірність захворювань або травмування працівників, забезпечується їхній комфорт, що сприяє підвищенню ефективності праці.

Відповідно до Закону України “Про охорону праці”, від 14.10.1992 р., разом з новим обладнанням, що планується ввести в експлуатацію мають бути розроблені правила безпеки та норми користування для працівників які його обслуговують.

Темою магістерської дисертації є: *«Підвищення ефективності процесу грануляції при неоднорідному псевдозрідженні»*.

Робота в цеху по виробництві гуміново-мінеральних добрив, відноситься до класу робіт з підвищеною небезпекою, оскільки в схемі виробництва приймають участь високотемпературні носії, та обертові елементи, тому, перед допуском до роботи працівників необхідно проінструктувати та провести кваліфікаційний іспит. Через потенційну небезпеку на виробництві виникає необхідність у постійному контролі, щодо дотримання правил безпеки на робочому місці.

Управління технологічним процесом виготовлення гуміново-мінеральних добрив здійснює оператор лінії, робоче місце якого розташовано у цеху загальною площею $S = 150 \text{ м}^2$ та об'ємом $V = 600 \text{ м}^3$.

При обслуговуванні лінії виробництва гуміново-мінеральних добрив виникають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- ураження електричним струмом;
- повітря робочої зони;
- вібрація та виробничий шум;
- рухомі та обертові частини;
- надзвичайні ситуації;
- пожежо-небезпека.

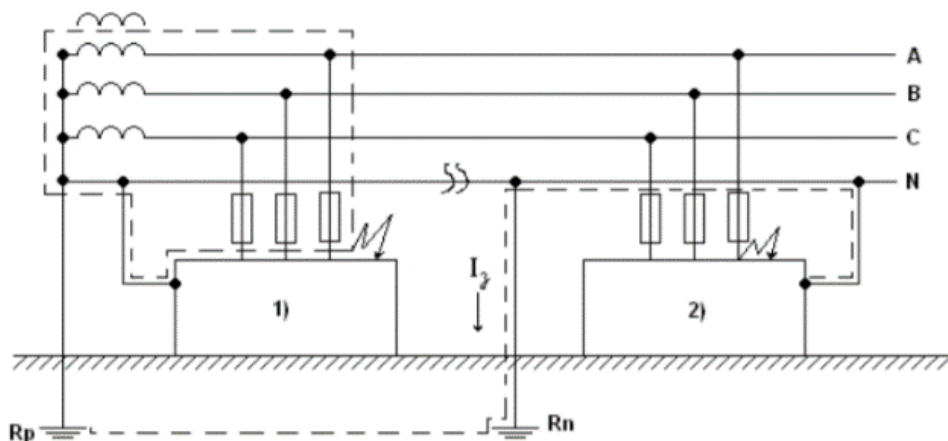
					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		129

5.1 Електробезпека

Виробнича лінія гуміново-мінеральних добрив розташована в приміщенні, температура та вологовміст повітря в якому відповідає заданим гігієнічно-санітарним нормам. Оскільки, підлогу в приміщенні виготовлено із залізобетону, відповідно до ПУЕ-86 воно відноситься до приміщень з підвищеною електробезпекою. Живлення робочих установок відбувається з трьох фазної мережі з $U = 220/380$ В та частотою $f = 50$ Гц, з глухозаземленою нейтраллю.

Для забезпечення електробезпеки в приміщенні, та при контакті працівників з обладнанням необхідно вжити наступні заходи:

- 1) Застосовувати ізоляцію на устаткуванні, що запобігає проходженню струму, з опором більше $R \geq 0,5$ МОм;
- 2) Ізолювати від вільного доступу елементи установки, які знаходяться під напругою.
- 3) Електрична мережа має бути поділена на кожний з апаратів лінії виробництва, за допомогою спеціальних трансформаторів.
- 4) Провести занулення мережі, яке використовується в установках з напругою до $U = 1000$ В. занулення – це умисне з'єднання між собою частин електроустаткування, що не знаходяться під напругою, з глухозаземленою нейтраллю в мережі трифазного струму, з глухозаземленим виведенням джерела однофазного або ж постійного струму, рисунок 5.1.



					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

Рисунок 5.1 – Схема занулення електрообладнання

При пробі струму на корпус апарата в мережі з глухозаземленою нейтраллю, сила струму короткого замикання становить:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{z + r_0} = \frac{220}{0,2 + 0,4} = 366,67 \text{ А} > 300 \text{ А}$$

де U_{ϕ} – напруга мережі, В; r_0 – внутрішній опір, Ом; z – опір провідника, Ом.

Занулення виконують наступним чином: занулюючі провідники обираються з розрахунку того, що при замиканні на корпусі або на нульовому захисному провіднику виникне струм короткого замикання, що не менше як в 3 рази перевищить номінальний струм плавкого елемента найближчого запобіжника або роз'єднувача (регульованого чи не регульованого) автоматичного вимикача із зворотною залежністю від характеристики величини струму.

Автоматичні вимикачі, номінальний струм яких здатен досягати 100 А, повинні мати коефіцієнт запасу в межах від 1,25 до 1,4. Також, провідність фазового провідника в усіх випадках повинна перевищувати провідність нульового провідника на 50%.

5) У разі виникнення неполадок застосовувати автоматичне відключення устаткування.

6) Ізолювати електричні мережі від землі.

7) Вирівняти електричні потенціали обладнання.

8) Електричне устаткування мусить мати засоби орієнтації, що дозволить робітникам орієнтуватися при виконанні робіт та мінімізує шанс помилки.

Для забезпечення орієнтації на виробниче обладнання наноситься спеціальне маркування (у вигляді символічних та цифрових позначень), попереджувальними табличками та написами, сигналами, знаками, прихованим розташуванням і відповідним забарвленням неізольованих струмопровідних частин.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		131

9) Біля кожного апарата та в шафах спеціального призначення мають бути розташовані спеціальні рубильники.

10) На устаткуванні з робочою напругою до 1000 В рекомендується встановлювати механічних, електричні або електромагнітні блокувальні пристрої.

11) Для роботи з електроустаткуванням працівники мають використовувати індивідуальний захист (гумові рукавиці та взуття).

12) Для невеликих приміщень необхідно застосовувати напруги до 42 В.

Джерелами низьких напруг можуть бути гальванічні елементи типу батарейок, акумуляторів, тощо.

Категорично забороняється:

- залишати лінію виробництва без нагляду;
- виконувати ремонтні роботи не кваліфікованим особам, при ремонті лінії електромережі мають бути відключені;
- проводити роботи на не занулених вузлах виробничої лінії;
- допускати до проведення робіт персонал, який не був ознайомлений з правилами техніки безпеки та немає належної кваліфікації.

5.2 Повітря робочої зони

Санітарними нормами встановлено, що температура повітря робочої зони в холодний період року має становити 19-21 °С, а в теплий період 22-24 °С, при відносній вологості повітря не більше 50%, швидкості потоку повітря не повинна перевищувати 0,2 м/с, для уникнення протягу працівників.

Для забезпечення заданих нормами параметрів повітря робочої зони, необхідно дотримуватися наступних заходів:

1. В робочих приміщеннях необхідно здійснювати опалення батареями або радіаторами, температура поверхні яких становить 50 – 60 °С.

2. Вологовміст повітря та його швидкість необхідно контролювати штучною вентиляцією в незалежності від пори року.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повітря робочої зони міститься пил, що включає до свого складу компоненти робочого розчину, сульфат амонію, кістяне борошно, гумати. Гранично допустима концентрація (ГДК) яких становить 1,3 – 3,4 мг/м³ згідно до ДСН 3.3.6.042-99.

Для забезпечення мінімально допустимої концентрації шкідливих компонентів в повітрі робочої зони, в цеху встановлено витяжний зонт місцевого типу.

Максимальна ефективність роботи витяжного зонту забезпечується при дотриманні наступних параметрів:

- об'єм відведеного повітря повинен бути меншим від максимально можливого, що здатен забезпечити витяжний зонт;
- вхідний канал зонту має бути більшим від джерела забруднення;
- відстань між нижньою та верхньою кромками мають бути мінімальними.

Для забезпечення мінімально допустимої концентрації шкідливих компонентів над апаратом для фасування гранульованого продукту встановлено витяжний зонт.

Схему витяжного зонту зображено на рисунку 5.2.

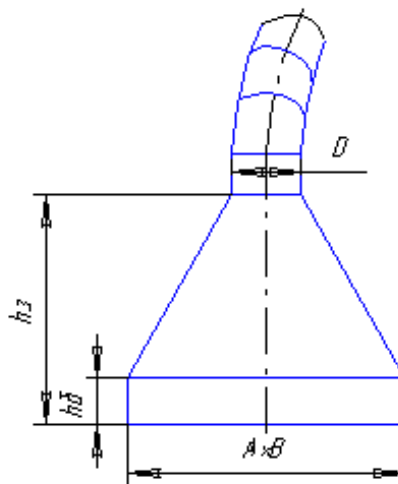


Рисунок 5.2– Схема витяжного зонту

Для забезпечення необхідних параметрів повітря необхідно провести розрахунок зонту та підібрати двигун, який здатний забезпечити задане розрідження.

Розрахунок габаритних розмірів:

1) Зонт розміщується на висоті, що знаходиться в межах від 1,6 до 1,8 м, тому обираємо висоту встановленню зонту $H = 1,6$ м.

2) Визначаємо довжину та ширину зонту:

$$A = a + 0,8h = 0,4 + 0,8 \cdot 1 = 1,2 \text{ м},$$

$$B = b + 0,8h = 0,4 + 0,8 \cdot 1 = 1,2 \text{ м},$$

де $a=b=0,4$ – довжина поверхонь, які перекриваються, м; $h=1$ – відстань до поверхні що перекривається, м.

3) Визначаємо загальну висоту зонту:

$$h_3 = \frac{A - D}{2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} + h_6 = \frac{1,2 - 0,3}{2 \operatorname{tg} \frac{60}{2}} + 0,2 = 0,97 \text{ м}$$

де $D = 0,3$ м – внутрішній діаметр патрубку; $h_6 = 0,2$ м – висота борту.

Приймаємо загальну висоту зонту $h_3 = 1$ м.

4) Об'єм повітря, яке здатний відвести зонт, $\text{м}^3 / \text{год}$:

$$J_3 = 3600 F V_0 = 3600 \cdot 1,44 \cdot 0,5 = 2592 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де $V_0 = 0,5$ м/с – середня швидкість повітря; F – площа поперечного перерізу зонту, м^2 :

$$F = AB = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44 \text{ м}^2,$$

Для подолання гідравлічного опору зонту необхідно створити розрідження $\Delta P = 60$ Па.

Для забезпечення заданої об'ємної продуктивності обираємо вентилятор серії RVF 120-80/50-4D: з продуктивністю $J_B = 2600 \text{ м}^3 / \text{год}$ максимальним тиском $P_6 = 600$ Па, частотою обертання $n = 1400$ об/хв та ККД $\eta = 0,72$.

5) Проводимо підбір електродвигуна.

Необхідна потужність на валу електродвигуна знаходиться за формулою:

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		134

$$N = \frac{J_B P_B}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \eta_n} = \frac{2592 \cdot 600}{3600 \cdot 102 \cdot 0,72 \cdot 0,7} = 8,4 \text{ кВт},$$

Електромотор приймаємо з коефіцієнтом запасу потужності 1,5.

Для забезпечення заданої продуктивності приймаємо асинхронний електродвигун типу АІР 150 S6 потужністю N=15 кВт з частотою обертання n=1450 об/хв.

Встановлення витяжного зонту дозволяє забезпечити ГДК в допустимих межах, що відповідає ГОСТ 12.1.005-88.

Для того, щоб система вентиляції виконувала свої функції, а не була джерелом забруднення її необхідно вчасно обслуговувати, очищувати від забруднень та слідкувати за робочим станом.

5.3 Захист персоналу від шуму та вібрації

Основними джерелами шуму та вібрації в процесі виробництва гуміново-мінеральних добрив є електродвигуни, шуми від рухомих частин обладнання та системи вентиляції. Рівень шуму знаходиться в межах 91-103 дБА.

Захист від шуму та вібрації необхідно досягати за рахунок шумобезпечного обладнання, використовуючи засоби колективного та індивідуального захисту. Головним колективним засобом захисту є зниження шуму в його джерелі.

Тому для зменшення негативного впливу вібрації і шуму є встановлення електродвигуна на спеціальному залізобетонній платформі, з його подальшою шумо- та віброізоляція. Забезпечення відповідного контакту між обертовими елементами валадиспергатора та корпусу апарату.

Для зменшення виробничого шуму передбачено своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться, використання звукоізолюючих панелей, перегородок, спеціальних кожухів.

В якості індивідуального захисту проти шуму пропонується використовувати навушники ПШН-Б, що призначені для захисту органів слуху

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		135

від впливу середньо- та високочастотного шуму з рівнем до 115 дБА, що відповідає ДСН 3.3.6037-99.

5.4 Безпека при роботі рухомих та обертових частин

В установках, обертаючими елементами є: вали, муфти, шестерні. Їх небезпека полягає в тому, що при контакті з людиною, через високу частоту обертання елементів, існує вірогідність отримання робітником виробничих травм. Для забезпечення безпеки робітників, рухомі елементи обладнання закриваються спеціальними металевими кожухами червоного кольору.

В разі контакту працівників, з відкритими елементами обладнання біля апаратів, та на пульті оператора встановлені аварійні кнопки відключення устаткування.

Для мінімізації ризику травмування, необхідно:

- 1) дотримуватися порядку на робочому місці, не залишати обладнання відкритим чи увімкненим без нагляду;
- 2) перевіряти працездатність устаткування;
- 3) встановлювати навколо обертових огороження та попереджувальні знаки;
- 4) перевіряти справність кнопок аварійного вимкнення.

Обслуговувати лінію виробництва можуть лише особи, які пройшли навчання та інструктування, склали іспит та отримали дозвіл роботи на певному виді обладнання. Для зменшення ризику травмування робітників. Періодично слід проводити інструктажі з безпеки, щодо роботи з устаткуванням.

Забороняється проводити ремонтні роботи над ввімкненим обладнанням, змащувати та налагоджувати рухомі або гарячі елементи.

У разі виникнення небезпечної ситуації необхідно терміново натиснути кнопку “СТОП”, та вимкнути обладнання.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		136

5.5 Безпека при надзвичайних ситуаціях

На відстані 800 м від цеху виробництва гуміново мінеральних добрив стається вибух з загальною масою пропану – 250 тон.

Вогнетривкість несучих стін сягає 2 годин, а перегородок – 0,5 год. Категорія пожеже безпеки – В.

Потужність вибуху розподіляється по кільком зонам:

Перша зона, має протяжність 117 м від епіцентру, тиск, який спричиняє вибув становить 50 кПа. В зона 2, від 117 до 199 м, тиск становить від 50 до 30 кПа, з рівномірним розподіленням по зоні. Цех виробництва гуміново-мінеральних добрив знаходиться за межами цих зон, тобто потрапляє до зони ударної повітряної хвилі, зона III, рисунок 5.3

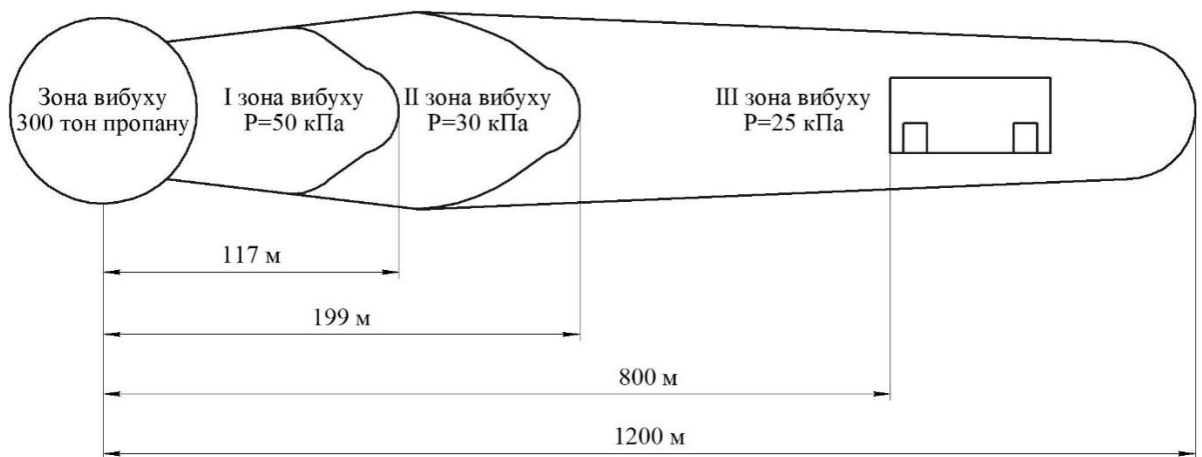


Рисунок 5.3 – Розповсюдження ударної хвилі

Тиск, який причинить руйнування будівлі визначається за формулою

$$\Delta P_{\phi} = \frac{262}{\sqrt{1 + 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{L^3}{Q}} - 1} = \frac{262}{\sqrt{1 + 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{800^3}{250}} - 1} = 20,915 \text{ кПа},$$

де L – відстань від епіцентру вибуху, м; Q – кількість речовини, яка вибухає кг.

Ударна хвиля завдає будівлі середніх руйнувань, перекриттів, даху, внутрішніх перегородок, на несучих стінах можуть утворитися тріщини. Також руйнуванню піддається промислове обладнання, пошкоджуються важелі

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		137

керування, вимірювальні прилади, тощо. Ураження людей від дії вибухової хвилі незначні.

В будівлях з III ступенем вогнестійкості категорії пожежної небезпеки В при надлишковому тиску 21 кПа та забудові зі щільністю 20%, можливі виникнення невеликі пожежі в перші 30 хвилин, які можуть перерости в суцільну на протязі 1 – 2 годин.

Безпечна кількість вибухової речовини, для уникнення руйнувань цеху становить менше 15 тон.

Для зменшення впливу вибуху, необхідно прийняти наступні запобіжні заходи: укріпити каркас будівлі, обладнання надійно закріпити на фундаменті, електромережі прокласти під землею.

5.6 Пожежна безпека

На робочому місці оператора можуть зайнятися дерев'яні та пластикові елементи з температурою займання 360-400°C. В цеху містяться легкозаймисті елементи: мастило, електричне обладнання, тому дане приміщення відноситься до приміщень з категорією В та зони пожежонебезпеки класу П-Па за ПУЕ.

Для запобігання виникнення пожежі, при експлуатації лінії виробництва гуміново-мінеральних добрив необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки. Температура займання гранульованого продукту становить 600 °C, що фактично виключає можливість самозаймання.

Основними причинами виникнення пожежі на виробничій ділянці є:

- 1) виникнення неполадок з електрообладнанням, коротке замикання;
- 2) зберігання легкозаймистих речовин в непристосованих для цього місцях;
- 3) використання відкритого вогнища.

Для запобігання ризику виникнення пожежі, необхідно вжити наступні заходи:

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		138

- 1) користуватися обладнанням відповідно до технологічних норм;
- 2) не допускати застосування відкритого вогню на ділянці;
- 3) відвести зони для паління;
- 4) обладнати цех протипожежною сигналізацією;
- 5) обладнати робочі місця засобами для пожежогасіння;
- 6) проводити інструктажі щодо заходів пожежної безпеки серед персоналу;

Невеликі пожежі ліквідуються за допомогою вуглекислих вогнегасників ОУ – 5, перед гасінням обладнання необхідно знеструмити. В разі неможливості знеструмити обладнання використовують порошкові вогнегасники ОП – 9.

В цеху розташовані пожежні гідранти на відстані 25 м один від одного, довжина рукава кожного становить 12 м. Для гасіння пожежі без участі людини в цеху встановлено десять автоматичних порошкових вогнегасників САМ – 9, на відстані чотири метри один від одного, температура руйнування теплового замку яких – 72 °С, площа захисту одного вогнегасника – 12 м².

Приміщення має три еваковиходи з шириною дверей – 2,5 м відповідно до СНП 2.09.02-85.

План евакуації з виробничого приміщення зображено на рисунку 5.4

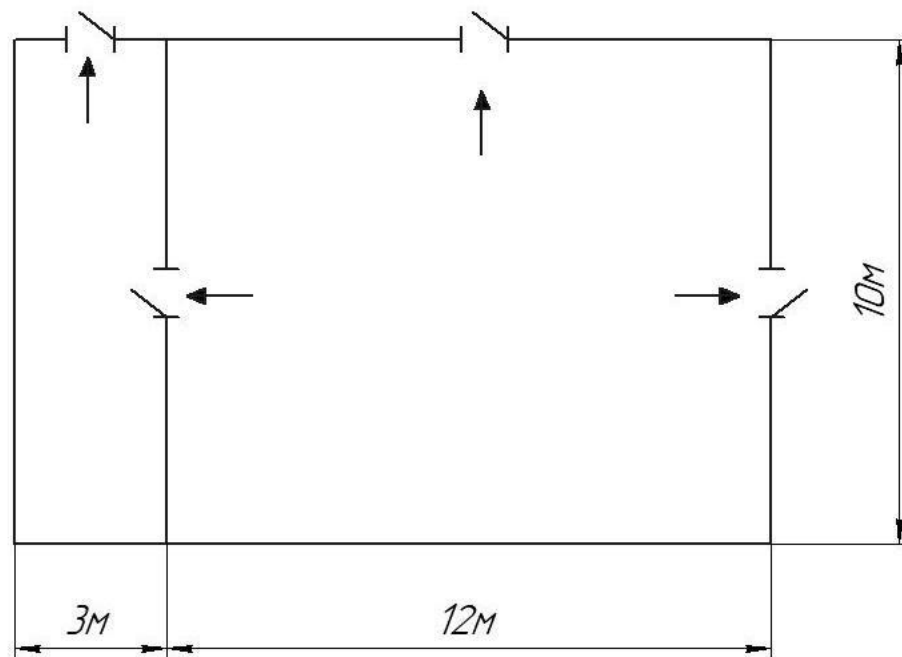


Рисунок 5.4 – План евакуації з виробничого приміщення

Для уникнення небезпеки перед початком роботи слід перевірити:

- 1) робоче місце;
- 2) працездатність електричного обладнання, наявність заземлення устаткування;
- 3) можливість блокування обладнання з допомогою аварійної кнопки справність “СТОП”.

При виникненні будь-якої несправності, чи наявності небезпеки слід терміново вимкнути обладнання.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		140

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів

Для підтримання стабільної роботи гранулятора з псевдозрідженим шаром та апарата з перемішуючим пристроєм необхідно приділити увагу точності виготовлення складових елементів апаратів та припасуванню деталей при складанні.

Монтаж обладнання проводиться на основі монтажною, виконавчою, технічною та нормативною документації. Основні вимоги що до виготовлення, контролю та монтажу частково викладені у кресленнях загального вигляду та кресленнях складальних одиниць, що відповідають ГОСТ 15.005 – 86.

Складальні частини мають стропувальні пристрої, відповідно до ГОСТ 14115 – 85. Корпуси апаратів розраховані з врахуванням навантажень, які виникають під час монтажу.

Перед монтажем необхідно очистити від забруднень та корозії внутрішні частини трубопроводів та обладнання, на ньому повинні бути підготовлені поверхні, які підлягають стикуванню, отвори, кронштейни, кромки з'єднань, що підлягають стикуванню [33].

Роботи з монтажу полягають у встановленні апарата на фундаменті та приєднання допоміжних вузлів, трубопроводів, приладів контролю та автоматичного регулювання, теплової ізоляції. Якщо в процесі виготовлення апарата утворилися якісь дефекти, їх необхідно позбутися перед монтажем.

Важке, великого габаритне обладнання обов'язково має бути встановлене на фундамент. Для встановлення невеликих апаратів, що працюють в спокійному режимі використовують підлоги або перекриття.

Для гранулятора та змішувача, як апаратів, що працюють зі змінним навантаженням фундамент доцільним буде виконати з цегли або бетону марки 75. При досягненні бетону міцності 50% від закладеної в проектному розрахунку дозволяється монтаж обладнання.

Для забезпечення працездатності гранулятора недопустимі перекося при

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14 1

монтажі, тому ніжки апарата мають можливість регулювання. Вирівнювання апарата з перемішуючим пристроєм здійснюється з допомогою фундаментних болтів.

Гранулятор складається з 5 основних елементів: корпус, газорозподільна решітка, диспергатори, вали на яких встановлюються диспергатори та труби для подачі робочого розчину. Монтаж проводиться наступним чином, спочатку на фундамент встановлюється корпус, горизонтальність якого регулюється за допомогою ніжок, до корпусу встановлюється ГРП та монтуються вали на які встановлюються ротори, підводяться труби для подачі робочого розчину, встановлюються контрольно-вимірювальні прилади та підключаються трубопроводи.

Змішувач поставляється у зібраному вигляді, тому для монтажу обладнання необхідно закріпити корпус апарата на фундаменті, встановити перемішуючий пристрій, скласти сальникове ущільнення та за допомогою муфти з'єднати вал мішалки з приводом, підключити трубопроводи, тепло ізолювати апарат.

Для обслуговування контрольно-вимірювальних приладів на апаратах встановлюються сходинки.

Після складальних операцій герметизуються місця з'єднання кришок, фланців тощо. Проводяться випробування апаратів на герметичність. Апарати протягом тижня працюють у випробувальному режимі, після чого відбувається здача в експлуатацію.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		142

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Використання в апарату стандартних та уніфікованих деталей сприяє скороченню витрат, спрощує ремонт обладнання та зменшує час необхідний для обслуговування. Стандартні деталі є взаємозамінними, та не потребують спеціального обладнання для монтажу.

Рівень стандартизації та уніфікації визначає насичення виробу стандартизованими та уніфікованими деталями, та оцінюється відповідними коефіцієнтами.

Гранулятор з псевдозрідженим шаром

Загальна кількість деталей $N = 587$, з них стандартних $n_c = 552$, уніфікованих $n_y = 24$ і унікальних $n_{yh} = 11$.

Коефіцієнт стандартизації [34]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{552}{587} = 0,94,$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [34]:

$$K_y = \frac{n_c + n_{yh}}{N} = \frac{552 + 11}{587} = 0,96, .$$

Апарат з перемішуючим пристроєм

Загальна кількість деталей $N = 353$, з них стандартних $n_c = 180$, уніфікованих $n_y = 21$ і унікальних $n_{yh} = 9$.

Коефіцієнт стандартизації [34]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{180}{353} = 0,51,$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [46]:

$$K_y = \frac{n_c + n_{yh}}{n_{заг}} = \frac{180 + 9}{353} = 0,51.$$

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		143

8 Розроблення стартап-проекту

8.1. Опис ідеї проекту

За останні роки виснаження ґрунтів сільськогосподарськими культурами в наслідок нераціонального землекористування, без повернення поживних речовин у вигляді добрив, призвело до зменшення родючості. Нестача необхідних мікро елементів призводить до ураження посівних культур паразитами та як наслідок відмирання рослин. Це призводить до негативних наслідків розвитку економіки нашої держави й світу в цілому [35].

Світова практика свідчить, що для забезпечення якісного мінерального складу родючого шару ґрунту, на 1 гектар необхідно внести 400 кг азотно-фосфорно-калійних добрив. Оскільки, на теренах України відсутні значні запаси фосфорної та калійної сировини, що призводить до необхідності використання в якості добрив розчини зі значним вмістом аміаку, який з легкістю просочується до ґрунтових вод, порушують біорівновагу та шкодять здоров'ю людей. Крім того, такі добрива складні в транспортуванні, та потребують постійного внесення до ґрунту, тому більш екологічним та економічним доцільним буде використання у якості добрив гранульованого полікомпонентного добрива. Його просто транспортувати та необхідно вносити до ґрунту всього один раз на рік.

В основу розробки стартап-проекту покладено ідею виробництва екологічних гранульованих гуміново-мінеральних добрив нового покоління, сировиною для яких слугуватиме соняшникова зола та розчини сульфату амонію, які являються відходами виробництв соняшникової олії та капролактаму. В процесі виробництва планується використання інноваційного підходу до проведення процесу грануляції за допомогою апаратів з псевдозрідженим шаром розробленими нашою компанією Safe fertilizer.

Застосовуючи неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі дає змогу отримувати гранульовані добрива полікомпонентні добрива з пошаровою структурою, що містять у заданих співвідношеннях необхідні органічні та мінеральні складові, що визначаються

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		144

агроекологічними умовами регіону. Основна перевага такого добрива полягає в тому, що вони інтенсифікують процес росту та дозрівання рослин, а також вони зручні в зберіганні та транспортуванні, оскільки не залежуються і міцність гранули достатня для запобігання її руйнуванню.

Запропонований проект здатен забезпечити Україну якісним добривом, мінімізувати залежність від іноземних поставок, та розвинути економіку, оскільки експорт харчових продуктів є важливим джерелом прибутку країни. Крім того, застосування новітнього обладнання, яке виготовляється власними потужностями, дозволяє інтенсифікувати процес грануляції, зменшившуючи витрати енергії та підвищити якість вихідного продукту відкриває нові шляхи експорту, не лише сировини, а й готового продукту, добрив, до країн Європи та Азії.

У таблиці 8.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Розроблення стартап-проекту проводився відповідно до методики [36, 37].

Таблиця 8. 1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення інноваційних гуміново-мінеральних добрив нового покоління	1. Аграрний комплекс (використання добрив для вирощування с/г культур) 2. Хімічна промисловість (інноваційна технологія сушки в апараті із псевдозрідженим шаром)	1. Якість продукції, що відповідає європейським стандартам. 2. Необхідність продукції в даний момент часу через погіршення екологічних факторів ґрунтів 3. Ресурсо-енергозбереження

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик стартап-проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик із спорідненими компаніями, що виготовляють схожу продукцію, а саме GEA та відчизняної ПАТ «Азот», таблиця 8.2.

Таким чином, сильними сторонами стартап-проекту є: технологічні та енергоефективні особливості для реалізації процесу грануляції, дешевизна устаткування; слабкими – складність виходу на ринок через невпізнаність бренду, водночас це можливість, оскільки компанія не має поганої репутації в споживачів [38].

Таблиця 8.2. - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	«Аксіом а Агро»	ТОВ «Спектр-Агро»			
1.	Продуктивність устаткування, кг/год	500	400	300	-	-	+
2.	Коефіцієнт грануляції, %	90	70	75	-	-	+
3.	Вартість установки, грн	140 000	250 000	220 000	-	-	+
4.	Міцність гранул, Н/гранулу	10	7,5	10	-	-	+

Продовження таблиці 8.2

5.	Робота з гетерогенними системами	так	ні	ні	-	-	+
6.	Гранули з рівномірним розподілом компонентів по всьому об'єму	так	ні	ні	-	-	+

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару, що робить його конкурентоспроможним і перспективним.

8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Вдосконалення процесу отримання органо-мінеральних добрив, заданого складу, у апараті з псевдозрідженим шаром полягає у тому, що створення нового технологічного обладнання забезпечить підвищення ефективності тепло-масообмінних процесів при масовій кристалізації шляхом збільшення питомого навантаження поверхні шару. Це дозволить забезпечити стійку кінетику грануляції та отримати добрива з рівномірним розподіленням компонентів в усьому об'ємі та покращеними механічними властивостями.

Технологія виробництва добрив в апаратах з псевдозрідженим шаром є доволі відомою, але аналоги сильно відстають за своєю технологічністю, оскільки грануляція відбувається у фонтануючому або барботажному режимі. Під час грануляції у фонтануючому шарі важко забезпечити якісну пошарову структуру гранул, та і кількість енергії необхідна для забезпечення даного режиму значно більша в порівнянні з запропонованим струменево-пульсаційним режимом. Барботаажний режим може створюватися за рахунок пульсацій, що передбачає

встановлення в механічного пульсатору, тобто в певний момент часу подача зріджувального агенту до апарата припиняється і на поверхні газорозподільного пристрою можуть утворюватися застійні зони.

Запропонований автоколивальний струменево-пульсаційний режим характеризується відсутністю застійних зон на поверхні ГРП, а завдяки направленій циркуляції гранули поступово проходять через три зони, зрошення, випаровування вологи та релаксації, що сприяє підвищенню їхньої міцності та утворенню чіткої пошарової структури.

Таблиця 8.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Спосіб виготовлення добрив	Грануляція добрив в апараті з псевдозрідженим шаром в автоколивальному режимі	Такі технології знаходяться на стадії розробки.	Такі технології знаходяться в закритому доступі. Наш проект володіє ними.
2	Спосіб виготовлення добрив	Добрива гранулюють у псевдозрідженому шарі в пульсацій- ному режимі (призводить до оплавлення матеріалу)	Такі технології існують. В доробці їх немає необхідності.	Такі технології доступні.
<p>Обрана технологія реалізації ідеї проекту:</p> <p>1 – Гранулювання гуміново-мінеральних добрив в апараті із псевдозрідженим шаром, що працює в автоколивальному режимі</p>				

Існує можливість реалізації проекту з впровадженням до лінії виробництва гранульованих добрив принципово нового підходу до процесу.

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [39, 40].

На мою думку, найбільш доцільним з точки зору продуктового збуту слід обирати ринок України, оскільки на сьогоднішній день наша держава значної кількості якісних добрив, задля відновлення родючості ґрунтів, які були виснажені нераціональним землекористуванням, що створює попит на нашу пропозицію. Для даного ринку потрібно провести аналіз основних тенденцій.

Проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 8.4.

Таблиця 8.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6
2	Загальний обсяг продаж, млрд грн	19
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнація
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, особистісні, цінові
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20

На ринку мінеральних добрив України на даний час склалась доволі тривожна ситуацію. Під загрозою опинилося вчасне забезпечення мінеральними добривами аграріїв для проведення польових робіт.

Зупинка підприємств компанії OSTCHEM та відновлення в травні 2017 року дії антидемпінгових заходів щодо імпорту в Україну деяких азотних добрив походженням з Росії ускладнили ситуацію на вітчизняному ринку мінеральних добрив та призвели до зростання цін на них останнім часом. Премія трейдерів по аміачній селітрі сягала 130%. Ринок став диким та неефективно преміальним. До того ж ситуацію обтяжує велика заборгованість OSTCHEM перед аграріями, які внесли йому передоплату за мінеральні добрива. Негативно впливає на ринок мінеральних добрив також його монополізація та бездіяльність АМКУ на ньому.

Динаміка ринку мінеральних добрив наведена на рисунку 8.1

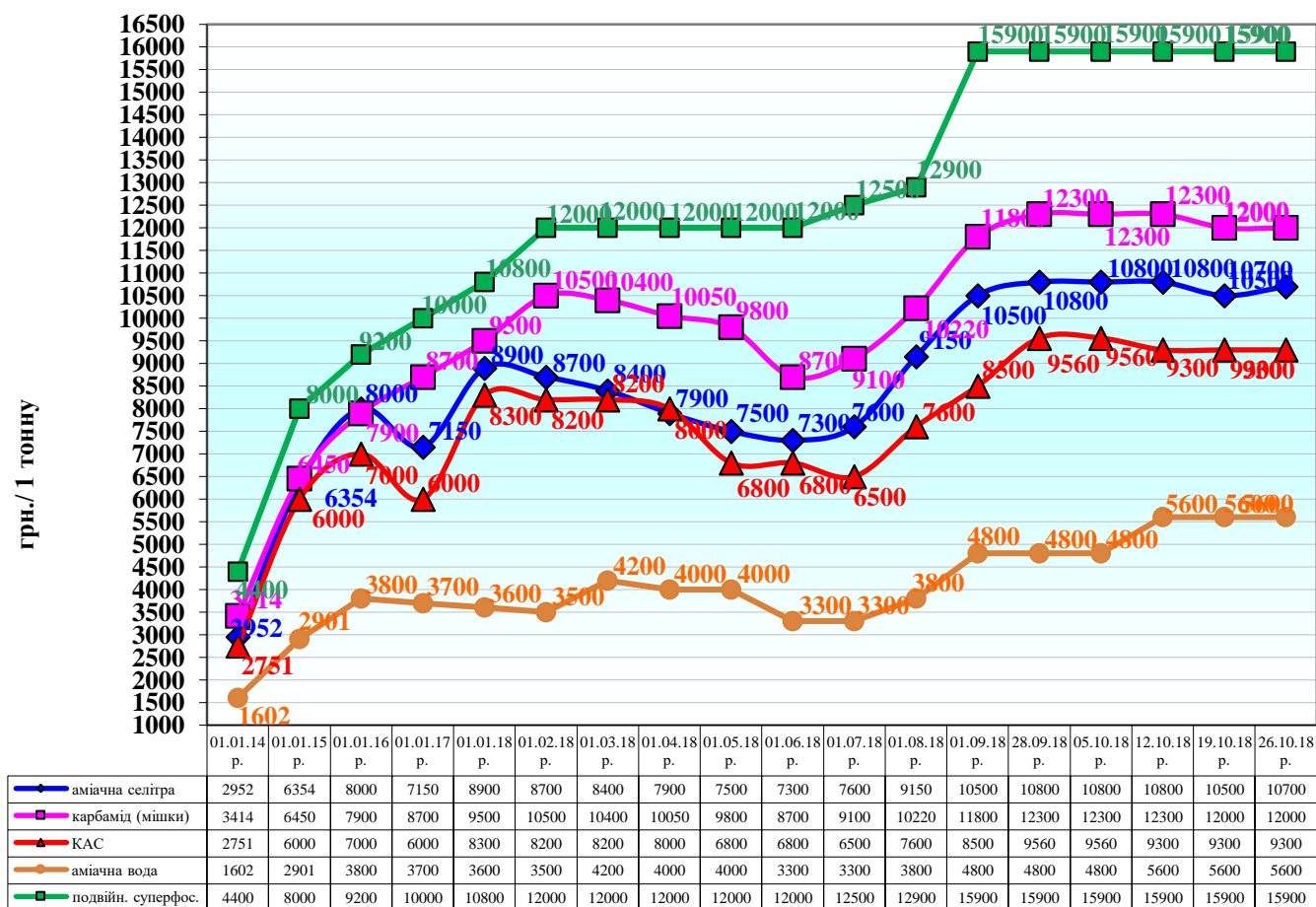


Рисунок 8.1 – Динаміка цін на основні види мінеральних добрив

Нагальним для ринку є також питання якості продукції. Сільгоспвиробниками відмічаються непоодинокі випадки невідповідності в добривах заявленої кількості діючих речовин від реальної. Це вказує на недостатній контроль з боку Держпродспоживслужби за ринком мінеральних добрив.

До того ж 2016 рік став рекордним за імпортом мінеральних добрив в Україну. Порівняно з минулим роком імпорт комплексних мінеральних добрив зріс на 48%, азотних на 27%, фосфорних на 23% та калійних на 8%. Рекордне зростання імпортних поставок було зумовлене зростанням потреби агросектору в мінеральних добривах через інтенсифікацію технологій. В той же час, вітчизняні виробники й надалі неспроможні забезпечити внутрішні потреби в добривах (особливо комплексних) та намагаються спекулювати на соціальній та політичній темах задля відновлення свого монопольного становища.

Виходячи з ситуації, яка склалася у сфері виробництва добрив, можна прогнозувати успішність втілення стартап-проекту. Це пов'язано з нестачею даної продукції на національній арені, значним подорожанням імпортних добрив та монополії вітчизняних постачальників.

Ці проблеми можуть надати поштовх для впровадження власних ідей у розвиток цієї галузі та отриманні на цьому прибутків [41,42]. Як наслідок, виведення стартапу на нові економічні рівні: зростання, насичення з подальшим розвитком.

Визначимо потенційних клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 8.5.

Таблиця 8.5-Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп	Вимоги споживачів до товару

Продовження таблиці 8.5

		клієнтів	
Потреба в економії ресурсів, задоволення якої стає можливим шляхом закупівлі нового обладнання та налагодження виробництва новітніх гуміново-мінеральних добрив пролонгованої дії.	Підприємства, що займаються виготовленням гранульованих добрив.	Ціна обладнання, габаритні розміри, відповідність обладнання ДСТУ, ГОСТ, ISO. Економічна ефективність обладнання.	Обладнання, яке здатне забезпечити задані механічні властивості гранул: міцність, незлежуваність; дисперсний склад готового продукту; економічну ефективність (собівартість).
Якість добрива, наявність асортименту, який дозволить підібрати продукт з оптимальним складом для певного регіону.	Приватні аграрні комплекси. Аграрна галузь. Сільськогосподарські кооперативи. Поодинокі фермерські господарства.	Ціна продукції; якість, що відповідає стандартам GlobalGAP, HACCP, ISO; здатність до транспортування; можливість застосування в окремих кліматичних регіонах	- якість; - ефективність; - ціна.

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – пошук раціональних шляхів розв’язання проблеми; всебічне просування власного бренду; повсякденне удосконалення, екологічність та якісний вміст товару.

Після визначення потенційних груп клієнтів, аграрні комплекси, сільськогосподарські кооперативи, фермерські господарства, проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 8.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 8.7.

Таблиця 8.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока вірогідність появи нових конкурентів на агропромисловому ринку	Тенденції зміни числа конкурентів	Акцентування уваги на якості продукту, зниження ціни, проведення акцій
2	Політичні конфлікти в країнах, що торгують сировиною	Може вплинути на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для виготовлення товару	Зміна напрямків імпорту/експорту
3	Спрямованість України до Європи	Витіснення вітчизняного товару закордонним	Підведення товару компанії до вимог та стандартів Європейського середовища. Проведення досліджень з метою виходу на закордонні

Продовження таблиці 8.6

			ринки, пошук клієнтів за кордоном
4	Зростаюча частота світових економічних криз	Мале фінансування, відсутність інвесторів	Пошук шляхів здешевлення товару без компенсування цього за рахунок його якості
5	Зростання рівня виробництва добрив	Зменшення попиту	Збільшення обсягів виробництва, розповсюдження товару на власному ринку, пошук закордонних клієнтів. Розроблення стратегій позиціювання.
6	Поява нових видів органо-мінеральних добрив	Зменшення необхідності в запропонованій продукції	Постійний розвиток та вдосконалення товару, орієнтація на постійних клієнтів. Використання наукових досліджень, популяризація цього в комунікаційних програмах.
7	Зменшення населення в Україні	Зменшення попиту на продукти харчування у внутрішньому ринку України.	Орієнтація добрив на експорт, та збільшення обсягів

Продовження таблиці 8.6

8	Консервативний менталітет вітчизняних клієнтів	Вибір перевірених технологій виробників замість інноваційної	Демонстрація на практиці якості товару за рахунок його інноваційності (роз'яснювальна комунікаційна програма)
9	Ерозія ґрунтів	Зменшення посівних площ	Нарощування виробництва. Розробка нових видів добрив, популізація цього в ЗМІ
10	Суперництво між наявними конкурентами	Усунення конкурентами компанії з ринку	Аналіз товару конкурентів, запозичення гарних тенденцій та запобігання помилок конкурентів

Таблиця 8.7 - Фактори можливостей

№ n/n	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Приріст населення в світі	Збільшується потреба в урожайності СГ культур	Збільшення виробничих потужностей, нарощування підприємства
2	Законодавчі фактори та закони і їх вплив на підприємство	За допомогою ліцензування та сертифікації можна підвищувати якість реалізованих товарів і послуг.	Дотримання захисту прав споживачів, забезпечення безпеки праці, часу роботи, мінімальної заробітної плати

Продовження таблиці 8.7

3	Наявність сільськогосподарського аспекту в Стратегії сталого розвитку України	Отримання державних інвестицій для впровадження технології	Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій
4	Можливість виходу на закордонний ринок	Витіснюючи конкурентів, збільшити прибутки компанії	Просування власного бренду у світі
5	Ускладнені стосунки з Росією	Використання власної сировини незалежної від закордонних постачальників.	Винесення цієї інформації в комунікаційні програми, і таким чином підкріплення стабільності і незалежності підприємства від зовнішніх партнерів.
6	Зростання рівня виробництва добрив та сировини	Збільшення кількості місць для впровадження технології. Ринок зростає, зростаємо ми.	Збільшення обсягів виробництва, розповсюдження товару на власному ринку, пошук закордонних клієнтів. Розроблення стратегій позиціонування.
7	Прагнення прогресивних інвесторів отримати інноваційні розробки	Прагнення отримати якісний продукт з меншим вкладенням капіталу	Підвищення якості продукції, вдосконалення процесу грануляції. Відображення цього в комунікаційній програмі.

Продовження таблиці 8.7

8	Спрямованість до екологічності товару	Перевага над конкурентним товаром за рахунок екологічності, якості, якісного складу	Пошук шляхів доведення та представлення переваг товару підприємства над конкурентами в комунікаційних програмах
9	Високий інтелектуальний потенціал компанії	Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники науковці як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці
10	Інноваційність технології	Співпраця з клієнтами, орієнтованими на оновлене виробництво	Пошук клієнтів-новаторів Спроби приваблювати консерваторів доведенням якості систем

Провівши аналіз можливої реакції компанії на появи нових загроз та можливостей, проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 8.8.

Таблиця 8.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості Конкурентно го середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
---------------------------------------	---	----------------------------------

Продовження таблиці 8.8

<p>1. Тип конкуренції: Олігополія</p>	<p>На ринку домінує невелика кількість конкуруючих фірм, зокрема: ПАТ «Азот», ТОВ «АКСІОМА-Агро», ТОВ «Спектр-агро», «Украгроком».</p> <p>Основна частка виробництва добрива, понад 60% належить підприємству ПАТ «Азот».</p> <p>Товар, що реалізується є в своїй більшості стандартизованим.</p> <p>Диференційовані рішення пропонують невеликі фірми, які не здатні в повному обсязі задовільнити попит.</p>	<p>Ціна на товар формується підприємством ПАТ «Азот», зважаючи на значну долю ринку. Продавці на ринку сильно завищують ціни, знають, що коли вони або їхні суперники змінять ціни чи обсяг продажів, наслідки позначаться на прибутках усіх фірм на ринку. Продавці усвідомлюють свою взаємозалежність. Кожна фірма в галузі визнає, що зміна її ціни чи випуску викликає реакцію з боку інших фірм.</p>
<p>2. Рівень конкурентно ї боротьби: Національна — конкуренція (в середині держави)</p>	<p>Компанія спочатку виходить на внутрішній ринок.</p> <p>Він поділений на сегменти, де кожна компанія має свою частку, конкурентна боротьба між ними мінімальна, це пояснюється низькою якістю продукції, яка нездатна конкурувати між собою.</p>	<p>Першим кроком орієнтуватися та виходити на національний ринок, збирати зворотній зв'язок, проблеми та побажання. Охоплювати у співпраці максимальну кількість національних клієнтів, спілкуватися з ними особисто. Паралельно працювати над іміджем компанії.</p>

Продовження таблиці 8.8

3. За галузев ою ознакою: Міжгалузева	Об'єднання економічно відокремлених товаровиробників, задля отримання прибутків. Використання сировини, що утворюється в процесі виробництва капролактаму та соняшникової золи. Перетворення відходів виробництва на гроші.	Виробники різних галузей зацікавлені у збільшенні власного прибутку, тому часто вкладаються в галузі з вищим прибутком, проте такі операції мають долю ризику. Ми пропонуємо, на основі їхнього виробництва встановити додатковий промисловий комплекс, який дозволить збільшити прибутки.
4. Конкурен ція за видами товарів: товарно- видова	Під час прийняття рішення про купівлю клієнт буде обирати кращу за властивостями, якістю та ціною продукцію	Передбачення способів просування товару та демонстрації його переваг з урахуванням потреб та точок зору різних категорій клієнтів агропромислового сегменту.
5. За характером конкурентни х переваг: нецінова	Боротьба між великими товаровиробниками за споживача шляхом упровадження досягнень науково-технічного прогресу у виробництво, що зумовлює поліпшення якості продукції і зростання монопольних надприбутків. Нецінову конкуренцію ведуть олігополії. Конкретнішими	Неціновій конкуренції властива певна стабільність цін (оскільки їх узгоджують кілька могутніх компаній, ПАТ «Азот», ТОВ «АКСІОМА-Агро», ТОВ «Спектр-агро», «Украгроком»), так зване "лідерство в цінах". Така конкуренція повніше відображає інтереси

Продовження таблиці 8.8

	<p>методами конкурентної боротьби за нецінкової конкуренції є впровадження передової техніки і технології (техніко-технологічний монополізм), новітніх форм організації виробництва та маркетингової діяльності (організаційний монополізм), зосередження кадрів високої кваліфікації (кадровий монополізм), здійснення комплексних науково-дослідних розробок (науковий монополізм), цінкової дискримінації та захоплення ринків збуту (збутовий монополізм) тощо. Компанії також подовжують термін гарантійного обслуговування обладнання для виробництва добрив, надають кредити покупцям, проводять акції.</p>	споживача.
--	--	------------

Продовження таблиці 8.8

6. За інтенсивністю: марочна	Марочна політика - одне із дієвих знарядь маркетингу, що дає змогу управляти рівнем доданої вартості товару, збільшувати капітал, підвищувати конкурентоздатність підприємства. Товарна марка - Safe fertilizer, призначена для ідентифікації товарів і послуг нашої компанії диференціації від товарів та послуг конкурентів, за якісним складом продукції та наявності диференційованих рішень.	Впровадження марочних знаків, товарних для впізнавання підприємства на ринку. Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті. Збільшення кількості ділових контактів. Таким чином, товарний знак, що визнаний покупцем на ринку і має в очах споживача високу репутацію, є гарантом успіху і засобом реклами товарів та фірми, якій він належить.
------------------------------	---	---

8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, таблиця 8.9).

Таблиця 8.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні Конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ПАТ «Азот»(Аз),	Основні бар'єри входження на	Венчурні капітали та допомога з	Цінова чутливість покупців.	Фірми-конкуренти виготовля-

Продовження таблиці 8.9

Складові аналізу	ПАТ «Азот»(Аз), «Аксіома-Агро»(А), ТОВ «Спектр-Агро»(С) , «Украгроком»(У).	ринок: ефект масштабу великих компаній, недостатність залучених інвестицій, складність проведення досліджень по інтенсифікації процесу через відсутність лабораторій та вченого персоналу.	боку держави за спеціальним и програмами (Держава потребується даному продукті).	Прихильність до відомих брендів. Негативне ставлення до інновацій через недостатню інформативність з даного питання.	ють продукцію, котра суттєво відрізняється від нашої. Їхня продукція має гіршу якість та композитний склад добрива.
	Висновки	Основна перевага – досвід роботи та відоме ім'я. Та через покращення якості та необхідності продукції з даними параметрами є шанс виходу на ринок.	Можливість входу на ринок існує. Конкурентами є нині існуючі підприємства та молоді підприємства з іноваційним підходом до даного виробництва.	Постачальники загалом не диктують умови.	Клієнти диктують умову на ринку. Якщо співвідношення ціна/якість буде не задовольняти, то можуть відмовитися від продукції і вибрати іншу.

Таблиця 8.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціна	Так як наша технологія виробництва є більш енергоефективною ми зможемо знижувати ціну на продукт
2.	Інноваційність технології	Нова технологія виробництва, дозволяє виготовляти добрива заданого дисперсного складу, тобто розподілення поживних речовин у гранулі буде рівномірним і багат шаровим, що дозволить ґрунту поглинати всі необхідні речовини. Крім того підвищена міцність гранул здешевлює їхнє транспортування
3.	Енерго- та ресурсозбереження	Завдяки впровадженню нової технології виробництва забезпечується підвищення ефективності процесу отримання добрив. Це дозволяє отримувати більше якісного продукту з меншою витратою енерго ресурсів
4.	Асортимент	Створення комплексних та спеціальних видів добрив, що призначені для певного кліматичного регіону та типу ґрунту

За факторами конкурентоспроможності (табл. 8.10) необхідно провести аналіз сильних та слабких сторін для мого стартап-проекту «Safe fertilizer» (табл. 8.11).

Таблиця 8.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Safe fertilizer»

№ п/п	Фактор конкурентоспро можності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Safe fertilizer»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціна	16	Аз		А	У		С	
2.	Інноваційність технології	20		Аз	У		А,С		
3.	Енерго- та ресурсозбереження	20		Аз	У		А,С		
4.	Асортимент	10	У		А	С	Аз		

де: Аз – ПАТ «Азот»,

А – Аксіома Агро,

С – ТОВ «Спектр-Агро»,

У – Укراгроком.

Сильні сторони стартап-проекту: раціональність ведення цінової політики; інноваційність технології виробництва гуміново-мінеральних добрив; великий асортимент продукції; універсальність застосування енерго- та ресурсозберігаючого обладнання.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, таблиця 8.12, на основі виділених ринкових можливостей і загроз, враховуючи сильні та слабкі сторони стартап-проекту.

SWOT-аналіз - це процес встановлення зв'язків між найхарактернішими для підприємства можливостями, загрозами, сильними сторонами (перевагами), слабкостями, результати якого в подальшому можуть бути використані для формулювання і вибору стратегій підприємства [36, 37]. Він проводиться з метою

дослідження підприємства як господарюючої системи у певному ринковому середовищі. SWOT-аналіз — це своєрідний інструмент; він не містить остаточної інформації для прийняття управлінських рішень, але дає змогу впорядкувати процес обмірковування всієї наявної інформації з використанням власних думок та оцінок. SWOT-аналіз дає змогу формувати загальний перелік стратегій підприємства з урахуванням їхніх особливостей — адаптації до середовища або формування впливу на нього. Широке застосування та розвиток SWOT-аналізу пояснюються тим, що стратегічне управління пов'язане з великими обсягами інформації, яку потрібно збирати, обробляти, аналізувати, використовувати, а відтак виникає потреба пошуку, розробки та застосування методів організації такої роботи.

Таблиця 8.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><i>Сильні сторони:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Високий інтелектуальний потенціал компанії. 2. Сучасне виробництво, яке не має аналогів. 3. Ефективність добрив. 4. Високий рівень екологічності, енергозбереження та ресурсозбереження загалом. 5. Раціональна цінова політика. 6. Асортимент продукції. 7. Адаптованість продукту на суміжні ринки. 	<p><i>Слабкі сторони:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невідоме «ім'я» підприємства. 2. Недостатній рівень фінансування. 3. Вихід на закордонний ринок. 4. Висока конкуренція на ринку.
--	--

Продовження таблиці 8.12

<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
1. Приріст населення в світі	1. Висока вірогідність появи нових конкурентів на агропромисловому ринку.
2. Законодавчі фактори та закони і їх вплив на підприємство	2. Політичні конфлікти в країнах, що торгують сировиною
3. Наявність сільськогосподарського аспекту в Стратегії сталого розвитку України	3. Спрямованість України до Європи
4. Можливість виходу на закордонний ринок	4. Зростаюча частота світових економічних криз
5. Ускладнені стосунки з Росією	5. Зростання рівня виробництва добрив
6. Зростання рівня виробництва добрив та сировини	6. Поява нових видів органо-мінеральних добрив
7. Прагнення прогресивних інвесторів отримати інноваційні розробки	7. Зменшення населення в Україні
8. Спрямованість до екологічності товару	8. Консервативний менталітет вітчизняних клієнтів
9. Високий інтелектуальний потенціал компанії	9. Ерозія ґрунтів
10. Інноваційність технології	10. Суперництво між наявними конкурентами

За даними проведеного дослідження ми маємо підсилення сильних сторін за рахунок можливостей.

Після проведення SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення проекту «Safe fertilizer» на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, які приходять на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, таблиця 8.13.

Таблиця 8.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Загарбник	Висока	Максимум 1 рік
Наступник	Суттєва	Близько 1 року

Зробивши порівняння альтернативного впровадження стартап-проекту обираємо альтернативу - **Загарбник**. Тобто, необхідно провести пошук такої великої фірми, яка б погодилася здійснювати фінансову підтримку, що дозволило б середньому підприємству залишатися на даному сегменті ринку.

8.5 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 8.14, [35].

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входження у сегмент
1.	Сільськогосподарські	80-85%	75-85%	Конкуренція не висока,	Перевага продукту за.

Продовження табл. 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

	кооперативи, приватні аграрні сектори, поодинокі фермери			оскільки існуючі підприємства орієнтовані на значні замовлення.	якістю та екологічністю дає змогу виходу на ринок.
2.	Державний аграрний сектор	70-75%	50-60%	Значна конкуренція, оскільки конкуренти орієнтовані на	Існують проблеми через невідоме ім'я компанії та роботу на державному
				значні замовлення.	рівні майже всіх інших конкурентів

Які цільові групи обрано: На початку існування, впровадження стартап-проекту необхідно залучитися підтримкою невеликих приватних аграрних секторів, оскільки моментальне входження на більший ринок може призвести до витіснення компанії відомими конкурентами. Але в подальшому планується вихід на державну арену, коли буде отримано необхідні прибутки, які можна затратити на масштабування. До того ж фірма стане впізнаваною серед аграріїв (матиме постійний ринок збуту).

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 8.14, для яких пропонується стратегія диференційованого маркетингу [42].

Формування стратегічного набору підприємства передбачає вивчення можливих шляхів досягнення цільових орієнтирів. Це пояснюється тим, що завжди існують різноманітні варіанти вирішення проблем розвитку підприємства, які знаходять своє втілення в так званих альтернативних стратегіях або

стратегічних альтернативах. Стратегічні альтернативи - це набір різних варіантів стратегій, які дають змогу підприємству досягти цілей, в межах обраного напрямку й обмежень на використання ресурсів.

Для співпраці з обраними сегментами ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, таблиця 8.15, [35].

Таблиця 8.15 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1. Укладення довгострокових договорів з клієнтами	Диференціація структури маркетингу	Висока якість добив, що відповідає європейським стандартам, принципово новий склад. Наявність комплексних універсальних та спеціальних рішень.	Стратегія диференціації (через відмінні властивості товару), нарощування конкурентних переваг підприємства

Отже, для роботи з декількома сегментами на ринку обрано стратегію диференціації, що дозволяє компанії досягти більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.16, [36].

Таблиця 8.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є «першо-прохідцем»?	Чи буде компанія шукати	Чи буде компанія копіювати основні характеристики	Стратегія конкурентної
				ної

Продовження таблиці 8.16

		нових споживачів або забирати існуючих у конкурентів?	товару конкурента, і які?	поведінки
1.	Ні	Цільова аудиторія на початку роботи компанії обмежиться маленькими приватними секторами. Треба починати з клієнтів, не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати.	Ні. Оскільки товар нашої компанії унікальний за складом та структурою (будова гранул). До цього додається екологічність продукцію та доцільність застосування в даний період часу, коли ґрунти на грані тотальної бідності.	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії «Safe fertilizer») та до продукту, таблиця 8.4, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 8.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 8.17, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [39].

Таблиця 8.17 - Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія	Ключові конкуренто спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають
---	---	---------------------	---	----------------------------------

Продовження таблиці 8.17

		розвит ку		сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	<p>1 Якість, що відповідає європейським стандартам</p> <p>2. Екологічність</p> <p>3. Ціна повинна відповідати якості</p> <p>4. Широкий асортимент</p>	Стратегія диференціації	<p>1. Продукція якісніша за конкурентну</p> <p>2. Економія на ресурсі за рахунок інноваційності процесу</p> <p>3. Екологічність</p> <p>4. Наявність універсальних та спеціальних видів добрив</p> <p>5. Програми лояльності та тривалі контракти.</p>	<p>1. Висока якість товару орієнтована на європейські стандарти.</p> <p>2. Наявність значного асортименту добрив для всіх сегментів ринку.</p> <p>3. Надійність виробника, та тісна співпраця з клієнтами</p>

В результаті виконання даного підрозділу розроблено систему рішень по ринковій поведінці компанії «Safe fertilizer», яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку.

8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.18 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [36].

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		171

Таблиця 8.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Підвищення енергоефективності та якості отриманого продукту	Активність при ґрунтоутворенні, енергозаощадливість при виробництві, якість вихідного продукту, екологічність	Енергоефективність, якість вихідного продукту, екологічність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 8.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Створення екологічно чистих гуміново-мінеральних добрив з дотриманням всіх ГОСТів та ДСТУ. Пролонгованість інноваційного добрива, ресурсо- та енергоефективність при виготовленні, надійність постачання.
II Товар у реальному виконанні	Виготовлення добрив, які не залежуються та при застосуванні мають пролонговану дію.
III. Товар із підкріпленням	Сертифікати якості на продукції, гарантія позитивного результату після застосування добрив, безкоштовна доставка товару в межах держави (Україна).

Впровадження в технологію виробництва гуміново-мінеральних добрив застосовуючи неоднорідне струменево-пульсаційне псевдозрідження в автоколивальному режимі захищено деклараційними патентами України на корисну модель №133577 від 10.04.2019 та №133308 від 25.03.2019. Закупівля компонентів на травень 2019 становить:

- амонію сульфат 8250 грн - 1 тонна (Україна);
- гумати 730 грн - 1 кг (Україна);
- карбамід 7800 грн - 1 тонна (Україна);

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 8.20. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Відповідно до композиційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 9600-11000 грн/т	Відповідно до композиційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 8000-13000 грн/кг	Промисловий ринок залежить від замовлення товару	Ціна на товари нижча ніж в конкурентів

Тепер визначаємо оптимальну систему збуту, таблиця 8. 21.

Таблиця 8.21 - Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Оптова закупка продукту	Якість товару, необхідні характеристики	Глибока	Спираючись на власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що наша компанія проводитиме збут власними силами або залучившись посередниками.

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування зі специфікою поведінки клієнтів, таблиця 5.22, [43].

Перерахована вартість виготовлених гуміново-мінеральних добрив за допомогою впровадження інноваційної технології ведення процесу грануляції в апараті із псевдозрідженим шаром та розробленої конструкції камери гранулятора більша на 20-25% за вартість сировини, що необхідна для їх створення.

Таким чином, середня ціна на готову продукцію варіюється в межах 10–11 тис. грн/т.

Таблиця 8.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламного пові- домлення	Концепція рек- ламного звернення

Продовження таблиці 8.22

1.	Розв'язок проблем в діяльності	Інтернет та соціальні мережі	Запевнення в швидкості та якості, створення партнерських стосунків з клієнтом.	Запевнити в швидкому розв'язку та відповідей на всі питання, що турбують.	«Якісні добрива для Вас»
2.	Пошук варіантів розвитку клієнта (покращення параметрів, зменшення затрат тощо).	Інтернет та соціальні мережі, реклама	Надання всієї інформації про Нас, надання гарантій та картки клієнта з подальшим сервісом.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Рушійна сила інновацій»
3.	Бажання здійснити вигідну покупку, що буде актуальною тривалий час.	Інтернет та соціальні мережі, відеочати, реклама виставки та друкована продукція	Надання всієї інформації та гарантія на покупку.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Обирайте найкраще»

Встановлено, що використання гуміново-мінеральних добрив при посіву пшениці збільшить врожайність на 30% і буде становити 4,95 т/га, що в грошовому еквіваленті становить близько 50 000 грн/га. Для підживлення 1 га площі посіву пшениці необхідно 330 кг добрив, що коштує 2000 грн [35,36]. А отже, при використанні гуміново-мінеральних добрив нового покоління наша команда отримуватиме чистий прибуток з 1 га посіву пшениці в сумі 2500 грн/га,

що свідчить про економічну ефективність виготовлення та продажу гуміново-мінеральних добрив.

8.7 Висновки

В ході розробки стартап-проекту «Safe fertilizer» було впроваджено ринкову комерціалізацію проекту. Про це свідчить наявність попиту та потреба в екологічній продукції.

1. Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик із спорідненими компаніями найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

2. Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей;

3. Ефективність використання гуміново-мінеральних добрив нового покоління свідчить про наявність попиту та досягнення фінансового прибутку;

4. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінка динаміки конкуренції в галузі дозволяють стверджувати про реальні перспективи подальшого розвитку стартап-проекту «Safe fertilizer».

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		176

Висновки

Дисертаційна робота на тему «Підвищення ефективності процесу грануляції при неоднорідному псевдозрідженні» спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі по підвищенню стійкості та ефективності процесу грануляції та надійності роботи гранулятора при застосуванні неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження в автоколивальному режимі при п'ятикратному перевищенні висоти шару зернистого матеріалу висоти пробою газового струменя.

Проведено опис технологічного процесу виробництва гуміново мінеральних добрив, підібрані гранулятор, змішувач, вибрано технічні характеристики цих апаратів, обґрунтовано обрані конструкції апаратів, проведено патентний пошук, розроблені заходи, що до вимог охорони праці, проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність установки та апаратів, один розрахунок виконаний у вигляді програм з описом методик розрахунків, подано рекомендації з монтажу та експлуатації, розроблено стартап проект, оцінено рівень стандартизації та уніфікації розроблюваних апаратів, проведено розробку технологічного процесу виготовлення деталі (конусний фланець) та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

1. Обґрунтовано спосіб взаємодії газового агенту із гранульованим матеріалом в апараті із псевдозрідженим шаром, за якого реалізується струменево-пульсаційний автоколивальний режим із циклічним імпульсним перенесенням у надшаровий простір не менше 30% від маси шару із частотою 2,0...2,5 Гц за відношення висоти пробою газового струменя до висоти шару матеріалу $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2 \div 0,24$.

2. Встановлено залежність гідравлічного опору ГРП, від коефіцієнту живого перерізу ϕ , в межах $3,2\% \leq \phi \leq 4,9\%$, $\zeta = 3,506 - 0,3463 \cdot \phi$.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		177

3. Експериментально визначено висоту пробою газового струменя, $Z_{\phi}=0,8 \div 0,12$ м при відношенні висоти пробою газового струменя до висоти шару матеріалу $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2 \div 0,24$..

4. Експериментально визначено вплив конструктивних особливостей ГРП та камери гранулятора на реалізацію неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження при збільшенні висоти шару зернистого матеріалу із $d_e = 2,07$ мм $H_{0(1)} = 0,42$ м, $H_{0(2)} = 0,52$ м, $H_{0(3)} = 0,6$ м та встановлено що якісний гідродинамічний режим для висоти $H_{0(3)} = 0,6$ м забезпечується при $\varphi=3,2\%$, $w_{кр} = 0,735$ м/с та $K_w = 1,71$.

5. Експериментально підтверджено, що зменшення коефіцієнта живого перерізу ГРП забезпечує індекс динамічної якості гідродинаміки $i_{\text{я}}=1.0$ за рахунок збільшення енергії газового струменя при відношенні $z_{\phi}/H_0=0,12/0,6=0,2$.

6. Експериментально встановлено, що при $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2$, розмір газової бульбашки утвореної при злитті струменів перевищує 1/3 ширини апарата і автоколивальний струменево-пульсаційний режим трансформується в квазі поршневий.

7. Експериментально доведено, що застосування еластичної сітки-відбійника дозволяє в 15,1 рази зменшити величину винесення матеріалу з камери гранулятора.

8. Завдяки застосуванню струменево-пульсаційного режиму досягається питоме навантаження шару за вологою $a_f=1,01$ (кг вол.)/(м² год), що в 2,9 рази перевищує ці показники для барботажного режиму.

9. Розроблено конструкцію промислових апаратів лінії виробництва гуміново мінеральних добрив.

10. Під час виконання дисертаційної роботи було розроблено стартап-проект «Safe fertilizer».

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		178

Выводы

Диссертационная работа на тему «Повышение эффективности процесса грануляции при неоднородном псевдоожижении» направлена на решение важной научно-технической задачи по повышению устойчивости и эффективности процесса грануляции и надежности работы гранулятора при применении неоднородного струйно-пульсационного псевдоожижения в автоколебательном режиме при пятикратном превышении высоты слоя зернистого материала высоты пробоя газовой струи.

Проведено описание технологического процесса производства гуминовых удобрений, подобранные гранулятор, смеситель выбраны технические характеристики этих аппаратов, обоснованно выбранные конструкции аппаратов, проведен патентный поиск, разработаны мероприятия к требованиям охраны труда, проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность установки и аппаратов, один расчет выполнен в виде программ с описанием методик расчетов, даны рекомендации по монтажу и эксплуатации, разработаны стартап проект, оценен уровень стандартизации и унификаций разрабатываемых аппаратов, проведена разработка технологического процесса изготовления детали (конусный фланец) и схемы автоматического управления технологическим процессом установки.

1. Обоснован способ взаимодействия газового агента с гранулированным материалом в аппарате с псевдоожиженным слоем, при котором реализуется струйно-пульсационный автоколебательный режим с циклическим импульсным переносом в надслоевое пространство не менее 30 % от массы слоя с частотой 2,0...2,5 Гц за отношение высоты пробоя газовой струи до высоты слоя материала $z_{\phi}/H_0 \leq 0,2 \div 0,24$.

2. Установлена зависимость гидравлического сопротивления ГРУ от коэффициента живого сечения ϕ , в области $3,2\% \leq \phi \leq 4,9\%$, $\zeta = 3,506 - 0,3463 \cdot \phi$.

3. Экспериментально определена высота пробой газовой струи, $Z_{\phi} = 0,8 \div 0,12$ м.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						179
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		

4. Экспериментально определено влияние конструктивных особенностей ГРП и камеры гранулятора на реализацию неоднородного струйно-пульсационного псевдоожижения при увеличении высоты слоя зернистого материала с $d_e = 2,07$ мм $H_{0(1)} = 0,42$ м, $H_{0(2)} = 0,52$ м, $H_{0(3)} = 0,6$ м и установлена качественный гидродинамический режим для высоты $H_{0(3)} = 0,6$ м обеспечивается при $\varphi=3,2\%$, $w_{кр} = 0,735$ м/с та $K_w = 1,71$.

5. Экспериментально подтверждено, что уменьшение коэффициента живого сечения ГРП обеспечивает индекс динамического качества гидродинамики $i_{\text{я}}=1.0$ за счет увеличения энергии газовой струи при отношении $z_{\text{ф}}/H_0=0,12/0,6=0,2$.

6. Экспериментально установлено, что при $z_{\text{ф}}/H_0 \leq 0,2$, размер газового пузырька образованной при слиянии струй превышает 1/3 ширины аппарата и автоколебательный струйно-пульсационный режим трансформируется в квази поршневой.

7. Экспериментально доказано, что применение эластичной сетки-отбойника позволяет в 15,1 раза уменьшить величину выноса материала с камеры гранулятора.

8. Благодаря применению струйно-пульсационного режима достигается удельная нагрузка слоя при влажной $a_f = 1,01$ (кг вл.)/(м² ч), что в 2,9 раза превышает эти показатели для барботажного режима.

9. Разработана конструкция промышленных аппаратов линии производства гуминовых удобрений.

10. При выполнении диссертационной работы был разработан стартап-проект «Safe fertilizer».

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						180
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Conclusions

In the Master`s thesis on the theme "Increasing the efficiency of the granulation process in heterogeneous fluidization" is aimed at solving important scientific and technical challenges to improve the sustainability and efficiency of the granulation process and reliability of the pellet mill in the application of a non-uniform jet-pulsed fluidization in self-oscillating mode five times in excess of the height of layer of granular material of height of the breakdown of the gas jet.

The technological process of production of humic-mineral fertilizers is carried out, the granulator, the mixer are selected, the technical characteristics of these devices are selected, the designs of the apparatus are substantiated, the patent search is made, measures are taken that the requirements of safety are performed, the calculations confirming the efficiency and reliability of the apparatus, one calculation is made in the form of programs with description of calculation methods, recommendations on installation and operation are given, a startup project is developed, the level of standardization is estimated These and the unification of the developed apparatus, the technological process of manufacturing the part (conical flange) and the scheme of automatic control of the technological process of the installation.

1. Justified way of interacting gas agent with granular material in the apparatus with fluidized bed, in which the realization of jet-pulse self-oscillating mode with cyclic pulse transfer adserve space not less than 30 % by weight of the layer with a frequency of 2.0 – 2.5 Hz for the ratio of the height of the breakdown of the gas jet to the height of the layer of material $z_{\phi}/H_0 \leq 0,21$.

2. The dependence of the hydraulic resistance of the GRU on the coefficient of living cross section ϕ has been established, in the region of $3.2\% \leq \phi \leq 4.9\%$, $\zeta = 3,506 - 0,3463 \cdot \phi$

3. The height of the breakdown of a gas stream was experimentally determined, $z_{\phi} = 0.8 \div 0.12$ m.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
						181
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. The influence of structural features of fracturing and granulator chamber on the implementation of inhomogeneous jet-pulsating fluidization with increasing height of the layer of granular material with $d_e = 2,07 \text{ mm}$ $H_{0(1)} = 0,42 \text{ m}$, $H_{0(2)} = 0,52 \text{ m}$, $H_{0(3)} = 0.6 \text{ m}$ and it is established that high-quality hydrodynamic mode for height $H_{0(3)} = 0.6 \text{ m}$ is provided at $\varphi = 3.2\%$, $w_{kp} = 0.735 \text{ m / s}$ and $K_w = 1.71$.

5. It is experimentally confirmed that the reduction of the coefficient of live cross-section of hydraulic fracturing provides an index of dynamic quality of hydrodynamics $i_{\pi} = 1.0$ by increasing the energy of the gas jet at a ratio $z_{\phi} / H_0 = 0.12 / 0.6 = 0.2$.

6. It is experimentally established that at $z_{\phi} / H_0 \leq 0.2$, the size of the gas bubble formed at the merge of the jets exceeds 1/3 of the width of the apparatus and the self-oscillating jet-pulsating mode is transformed into a quasi piston.

7. It is experimentally proved that the use of elastic net-bump allows to reduce by 15.1 times the amount of removal of material from the chamber of the granulator.

8. Due to the application of the jet-pulsating mode, the specific layer load at humidity $a_{\phi} = 1.01 \text{ (kg demp.) / (M}^2 \text{ h)}$ is reached, which is 2.9 times higher than these parameters for the bubbling mode.

9. The design of industrial apparatus of the line of production of humic and mineral fertilizers is developed.

10. During the dissertation the Safe fertilizer startup project was developed.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		182

Перелік посилань

1. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // Монографія для студентів, які навчаються за напрямком «Машинобудування» спеціальність «Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 206 с
2. Корнієнко Я. М. Закономірності утворення органо-мінерально-гумінових добрив / О. В. Куріньовський, Я. М. Корнієнко, Р. В. Сачок, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк, А. М. Любека // Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання: VIII міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, 19-20 квітня 2015 р: збірник тез доповідей. – Київ. – 2015. – С. 29-31.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: 1991. - 496с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. 10-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Химия. 1987.- 576 с.
5. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с., ил.
6. Пат. UA 118521 U України, МПК (2006.01) B01J 2/20, B29B 9/02, B30B 11/28, B30B 15/02. Гранулятор / Заблудський М. М., Синявський О.Ю., Брагіда М.В., Грицюк В.Ю., Сорокін Д.С.// Опубл. 25.01.2019 – Бюл. № 2.
7. Патент UA № 109509 МПК B01J 8/44. Газорозподільний пристрій апарата псевдозріженого шару/ Турко С.О., Корнієнко Я.М., Гайдай С.С., Мартинюк О.В., Любека А.М. // Публікація патента: 25.08.2016, Бюл. №16
8. Патент № WO2019/046705 США, МПК(2006.01) B03B 5/00, B08B 17/00, B03B 5/62, B01F15/06, B01F7/00 заявлено 17.09.2015, опубл. 31.03.2019
9. Патент № P2019-532467A Японія, МПК(2010.01) H01M 4/139, H01M

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		183

4/1391, H01M 4/36, H01M 4/88, H01M 13/00 заявлено 8.03.2018, опубл. 7.11.2019

10. Патент № 201980149066.4 Китай, МПК(2006.01) F23C 10/20, заявлено 4.05.2019, опубл. 8.06.2019

11. Патент № CN202028350 U Китай, МПК(2006.01) B01F7/18 заявлено 21.03.2019, опубл. 09.11.2019

12. Пат. UA 123517 U України, МПК (2006.01) B01F 7/18. Лопатева мішалка/ Жиленков О.О., Білецький В.С. // Опубл. 26.02.2018 – Бюл. № 4.

13. Патент № CN104001447A Китай, МПК(2006.01) B01F15/00 заявлено 15.05.2019, опубл. 27.08.2019

14. Патент № CN108031330A Китай, МПК(2006.01) B01F7/16 заявлено 29.12.2017, опубл. 15.05.2019

15. Патент № CN205361127U Китай, МПК(2006.01) B01F15/00 заявлено 25.01.2019, опубл. 06.07.2019

16. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності процесу одержання гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк // НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 11,5 Мбайт). – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – 349 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11943>.

17. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. К.: 2018. – 24 с.

18. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив / Дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. К.: 2018. – 253 с.

19. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності псевдозрідження при застосуванні газорозподільного пристрою щілинного типу / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк, А. М. Любека // Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання: VIII міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, 19-20 квітня 2015 р: збірник тез

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		184

доповідей. – Київ. – 2015. – С. 7-9.

20. Корнієнко Я. М. Гідродинаміка струменево-пульсаційного режиму псевдозрідження з направленою циркуляцією / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, А. М. Любека, С. О. Турко // Міжнародний науковий журнал. – 2016. – №5. – том 2. – С. 101-106. (Міжнародне видання. Входить до наукометричних баз РИНЦ, ОАІ, ResearchBib, SIS, TEI, EIJ, RePEc, InfoBase Index, IIOR, CiteFactor, Open J-Gate).

21. Пат. UA 136196 U України, МПК B01J 8/44. Газорозподільний пристрій апарата псевдозрідженого шару / Шевченко Я. М., Корнієнко Я.М., Гайдай С.С., Денисенко В.Р., // Опубл. 18.02.2019 – Бюл. № 15.

22. Денисенко В.Р. Гідродинаміка неоднорідного псевдозрідження / Денисенко В.Р., Корнієнко Я.М., Гайдай С.С., Шевченко Я.М. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. №1(18).

23. Корнієнко Я. М., Сачок Р. В. Процес гранулоутворення мінерально-гумінових добрив: Монографія. [Електронне видання]. 2014р., 158 с

24. Я. М. Корнієнко. Технічні способи грануляції. Навч. Посібник. –К.: ІЗМН, 1997. – 128 с.

25. Млиновий вентилятор ВВСМ ВМ – 15 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.b2b-center.ru/catalog/tovari/ventilatory-vvsm> Дата звернення (09.12.2019) – Назва з екрана.

26. Димосос ВДН 11,2 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ukrvent.com/vdn-11-2-html/> Дата звернення (09.05.2019) – Назва з екрана.

27. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. — Л.: Химия, 1991. — 352 с., ил.

28. ГОСТ 14249 - 89: Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

29. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин,

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		185

навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.

30. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонюк . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. — К.НМК ВО, 1992 – 104 с.

31. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонюк . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник. — К.:ІСДО, 1995 – 184 с.

32. Мікульонюк І.О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв Навч посібник – К НАУК ДУМКА, 1999 – 152с

33. Мікульонюк І.О. Виготовлення монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв– Київ НТУУ «КПІ», 2012 – 442с.

34. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с., ил.

35. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>

36. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

37. Standard Management Systems QUALITY MANAGEMENT Textbook for students and post-graduate students on specialty 131 "Applied mechanics"/ S. Fomichov, A. Banin, I. Skachkov, V. Lysak, O. Gaievskiy, N. Yudina, Kiev: KIM, 2018 – P. 266

38. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		186

innovations. – 3'2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

39. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

40. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

41. 38. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

42. 39. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризисное управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : http://futureslog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

					ЛН81мп.066615.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		187